

ÜBER DIE ANWENDUNG VON STRONTIUM-85
ZUR BEURTEILUNG DER FRAKTURHEILUNG

BETTINA MÜHLINGHAUS

—

1974



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41551922_0072

Aus der Chirurgischen Poliklinik der Universität München
(Direktor: Professor Dr. F. Holle) und aus der Zentralen
Röntgenabteilung der Poliklinik der Universität München
(Abteilungsvorsteher: Professor Dr. K. W. Frey)

ÜBER DIE ANWENDUNG VON STRONTIUM-85 ZUR BEURTEILUNG DER
FRAKTURHEILUNG

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Bettina Mühlinghaus
aus
Wuppertal

München 1974



Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität
München

Berichterstatter:	P. D. Dr. W. L. Brückner
Mitberichterstatter:	Prof. Dr. K. W. Frey
Dekan:	Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung:	22. Januar 1974
-----------------------------	-----------------

INHALTSVERZEICHNIS

- A. Einleitung
- B. Literaturüberblick
 - I. Bisher verwendete Nuclide in der Knochendiagnostik
 - II. Untersuchungen mit Strontium-85 bei verschiedenen Knochenerkrankungen
 - III. Szintigraphische Ergebnisse bei Knochenfrakturen
- C. Material
 - I. Strontium-85
 - II. Patientenprotokolle
- D. Methode
 - I. Untersuchungsintervalle
 - II. Untersuchungsapparatur und Meßzeit
 - III. Untersuchungsstellen
 - IV. Auswertungsverfahren
- E. Ergebnisse
 - Ergebnisse des Quotientenvergleichs
frakturierte Extremität/kontralaterale Extremität
 - I. Untersuchung der absoluten Quotientenwerte
 - II. Untersuchungen über die Reihenfolge der Quotienten
 - Ergebnisse des Quotientenvergleichs
frakturierte Extremität/Tibiamitte
 - I. Untersuchung der absoluten Quotientenwerte
 - II. Untersuchungen über die Reihenfolge der Quotienten
 - Ergebnisse der Sonderfälle
 - Vergleich von Röntgenbildern und Strontium-85-"uptake"-Messungen
- F. Diskussion
- G. Zusammenfassung
- H. Anhang (Patientenprotokolle, Tabellen, Literaturverzeichnis)

A. EINLEITUNG

Seit etwa 40 Jahren sind radioaktive Isotope in der medizinischen Forschung bekannt, aber breite Anwendung fanden sie erst während der letzten 20 Jahre hauptsächlich in der Diagnostik.

Von besonderem Interesse waren dabei auch die nuklearmedizinischen Untersuchungen auf dem Gebiet der Knochenerkrankungen.

Meine Aufgabe war es, Frakturen und benachbarte Gelenke im Bereich der Extremitäten bei 27 Patienten nach Injektion von Strontium-85 mit Hilfe mehrerer zeitlich aufeinander folgenden "uptake"-Messungen in ihrem Heilungsverlauf zu kontrollieren.

B. LITERATURÜBERBLICK

I. Bisher verwendete Nuclide in der Knochendiagnostik

Für die Langzeituntersuchungen der Mineraleinlagerung im Knochen eignen sich das Calcium-45 (Halbwertszeit=HWZ 165 Tage = d), das Calcium-47 (HWZ 4,7 d), und das Strontium-85 (HWZ 64,8 d) (BAUER 1959, COHN 1962, OEFF 1962, SACK 1967). In der Lokalisationsdiagnostik werden neben dem wirtschaftlichen Strontium-85 kurzlebige Isotope wie das Strontium-87-m (HWZ 2,8 h) und das Fluor-18 (HWZ 1h 49 min.) bevorzugt, da ihre kurze HWZ eine höhere Aktivitätsgabe erlaubt und eine geringere Strahlenbelastung des Patienten mit sich bringt (MYERS 1960, SPENCER 1967, O'MARA 1969, RUSSELL 1969).

II. Untersuchungen mit Strontium-85 bei verschiedenen Knochenerkrankungen

Bedingungen für einen vermehrten Einbau von Strontium-85 können durch eine Vielzahl von Vorgängen gegeben sein. So konnte eine vermehrte Anreicherung von Radiostrontium im pathologisch veränderten Knochen gefunden werden bei:

gutartigen Tumoren	(ROSENTHALL 1965)
bösartigen primären und sekundären Knochengeschwülsten	(BAUER u. WENDEBERG 1959, FLEMING u.a. 1961, GYNNING u.a. 1961, KOFMAN 1963, SKLAROFF u. CHARKES 1964, ROSENTHALL 1964, 1965, ERJAVEC 1965, SIMPSON u.a. 1965, FREY 1967, 1968)

entzündlichen Knochenprozessen

(BAUER u. WENDEBERG 1959, ROSENTHALL
1964, FREY 1967, BESSLER 1967, FASS-
BENDER 1968, HÖR 1969)

degenerativen Gelenkserkrankungen

(ROSENTHALL 1964, KETTUNEN u. REKONEN
1965, FASSBENDER 1968)

Systemerkrankungen (KLEIN u. LUND 1964, ROSENTHALL 1965)

M. Bechterew (KOLAR 1967)

chron. Gelenkrheumatismus

(HOLOPAINEN u. REKONEN 1966)

septischen und tuberkulösen Knochenprozessen

(FELLÄNDER u.a. 1966)

Knochen u. Gelenktuberkulose

(KETTUNEN u. REKONEN 1968)

III. Szintigraphische Ergebnisse bei Knochenfrakturen

In umfangreichen Untersuchungen über den Wert der Szinti-
graphie nach Frakturen und Knochenoperationen kam BESSLER
1967 zu folgendem Ergebnis:

- a) Frische und alte Frakturen lassen sich szinti-
graphisch gut unterscheiden; bei Wirbelsäulenver-
letzungen war die Aktivitätsanreicherung an der Bruch-
stelle 3 - 4 Wochen nach dem Unfall am größten.
- b) Es gelingt mit der szintigraphischen Methode, nicht
erkannte Frakturen aufzudecken.
- c) Der Heilungsverlauf einer Knochenfraktur läßt sich
mit ihr zuverlässig kontrollieren.

C. MATERIAL

I. Strontium-85

1. Physikalische und biologische Eigenschaften von Strontium-85.

Da sich Strontium-85 im Stoffwechsel sehr ähnlich wie Calcium verhält, wird es im Knochen anstelle von Calcium in Zonen gesteigerter Stoffwechselaktivität eingelagert.

Bei Verlaufskontrollen hat Strontium-85 gegenüber anderen Isotopen den Vorteil der relativ langen physikalischen Halbwertszeit (64,8 d), die Kontrollmessungen über Tage und Wochen erlaubt und die manche zusätzlichen Informationen über die Dynamik des Knochenprozesses geben kann. (KOLAR 1967, PARSONS 1969)

Die Strahlungsenergie von Strontium-85 beträgt 0,51 MeV. Die Strahlenbelastung für den Organismus wird bei 100 μ Ci i.v. mit einer Ganzkörperbelastung von 0,6 rad und für die Knochenbelastung von 1,6 - 4,6 rad angegeben (SKLAROFF u. CHARKES 1964). Nach 48 Stunden sind fast 50 % des applizierten Strontium-85 über die Nieren und den Gastrointestinaltrakt ausgeschieden (FASSBENDER 1968), der Rest ist größtenteils im Knochen fixiert (QUIMBY 1958). Über die biologische HWZ existieren weiterhin recht unterschiedliche Angaben:

CHARKES und SKLAROFF (1964) zitieren COHN (1962) und SUGURI (1963), die von 800 - 845 Tagen sprechen; BESSLER (1967) zitiert FUJITA und Mitarbeiter (1963), welche die biologische HWZ von Strontium-85 aufgliedern

in die HWZ für die Weichteile und Flüssigkeitsräume 1,5 Tage und die HWZ des Knochengewebes 65 Tage, wobei 25 % des definitiv eingebauten Strontium-85 erst nach einer HWZ von 600 Tagen abgebaut werden; von der verabreichten Gesamtmenge sollen nach einer Woche 45 % über den Darmtrakt und 10 % über die Nieren ausgeschieden sein. FEINE (1969) schreibt, daß nach 2 Tagen etwa die Hälfte des applizierten Strontium-85 ausgeschieden ist und 50 % des in den Knochen abgelagerten Isotopes mit einer biologischen HWZ von 15 Tagen und weitere 25 % mit einer biologischen HWZ von 600 Tagen den Körper verlassen.

Auch die Ganzkörperdosis und die Knochendosis nach Injektion von 100 μ Ci Strontium-85 werden unterschiedlich angegeben:

FLEMING (1961) errechnet für den "Standard-Menschen" (70 kg Körpergewicht) die Ganzkörperdosis mit 0,326 rad und die Knochendosis mit 2,28 rad; COREY (1962) bestimmt die Ganzkörperdosis mit 1,32 rad, die Dosis für den gesunden Knochen mit 1,38 rad und für den erkrankten Knochen mit 2,0 rad. WEBER (1969) und Mitarbeiter geben als Knochendosis 5,2 rad an. Die maximale Dosisbelastung des Patienten bei der Untersuchung mit Strontium-85 entspricht etwa der einer Röntgenuntersuchung des Magens und liegt unter der höchstzulässigen Strahlendosis, die von der internationalen Strahlenschutzkommission (IRCP) für regelmäßig der Strahlung ausgesetzten Personen mit 0,30 rad pro Woche oder 5 rad pro Jahr festgelegt wurde.

Anwendungsmodus:

Kinder und Schwangere sollten nicht mit dem langlebigen Strontium-85 untersucht werden; bei alten Patienten und Patienten mit einem Malignom ist die Strahlenbelastung kein Einwand gegen die Skelettuntersuchung mit Strontium-85, deren Aussage für Diagnostik und Therapie von beachtlichem Wert sein kann (FREY u. Mitarbeiter 1967, KOLAR 1967, BESSLER 1967, SKUPENOVA u. Mitarbeiter 1968),
Nach den Untersuchungen von BAUER und WENDEBERG (1959) hat sich das verabreichte Strontium-85 nach 24- 48 Stunden im Bereich osteolytischer und osteoplastischer Metastasen angereichert. Die Speicherdifferenz soll gegenüber dem gesunden Gewebe im Ablauf von 2 - 14 Tagen noch zunehmen. Auch in neueren Veröffentlichungen wird der Untersuchungszeitpunkt zwischen 1 - 7 Tagen nach der Injektion von Strontium-85 gelegt (FREY 1967, KOLAR 1967, RONAI u. Mitarbeiter 1968, GREENBERG u. Mitarbeiter 1968).

2. Mechanismus der Isotopeneinlagerung in den Knochen

Während des ganzen Lebens finden im Knochen Anbau und Abbau statt, die sich nach Abschluß des Knochenwachstums normalerweise die Waage halten. Dieser stetige Umbau der Knochensubstanz führt dazu, daß immer wieder neue Mineralien benötigt werden, denn ein Teil der abgebauten Metabolite wird durch Nieren und Darm ausgeschieden. Das macht man sich bei der Untersuchung des Knochenstoffwechsels mit Spurensubstanzen, sogenannten Tracern, zunutze. Als Tracer werden radioaktive Isotope

verwendet, die der Organismus von den natürlichen Metaboliten des Knochenstoffwechsels kaum unterscheidet und deshalb gleich oder ähnlich behandelt.

Nach Applikation erreichen die osteotropen Isotope auf dem Blutwege in kürzester Zeit das Knochengewebe. Dort werden sie an der Oberfläche der Knochenkristalle, die im Osteoid eingebaut sind, ausgetauscht.

Nach mehreren Stunden gelangen sie in das Innere der Kristalle, wo sie chemisch stärker gebunden sind als an der Oberfläche. Auf diese Weise erhält man eine radioaktive Markierung der sich neu bildenden Knochenmatrix, deren Intensität und Lokalisation sich szintigraphisch und durch "uptake"-Messungen feststellen lassen.

Da die Epiphysen und Metaphysen der langen Röhrenknochen einen größeren Knochenumbau aufweisen als die Diaphysen, lagern sie auch vermehrt Radioisotope ein. Ebenso kann über kompakten Knochenbezirken infolge der stärkeren radioaktiven Markierung gegenüber dünnen Knochenschichten erhöhte Aktivität gemessen werden (BAUER 1966, KOLAR 1968, FEINE 1969, HAAS 1970).

Die Bedingung für eine erhöhte Radiostrontiumeinlagerung ist ebenfalls bei Knochenfrakturen gegeben. Aus Periost und Endost entwickeln sich nach dem Frakturereignis Osteoblasten, die für die Ausbildung des Kallus bzw. des neuen Knochen verantwortlich sind. Die Größe des entstehenden Kallus und die Dauer der Bruchheilung sind stark vom Lebensalter abhängig. In diesen Prozess wird das Strontium anstelle des Calcium mit eingeschleust und in erhöhtem Umfang gespeichert. (ROSENTHALL 1965, FREY 1967, FASSBENDER 1968)

Die Aktivität nach Radiostrontiumapplikation z.B. über hüftnahen Femurfrakturen erreicht normalerweise 6 - 8 Wochen nach dem Frakturereignis ein Maximum und fällt dann ab. Nach 2 Jahren ergeben sich aber praktisch normale Werte (BESSLER 1967). Eine mäßig erhöhte Ablagerung kann allerdings auch noch Jahre danach zu messen sein (WENDEBERG 1961).

II. Patientenprotokolle (s. Anhang)

Es wurden insgesamt 15 Männer und 12 Frauen mit jeweils einer oder mehreren Frakturen untersucht.

An persönlichen Daten wurde vermerkt:

- Alter
- Geschlecht
- Lokalisation der Fraktur
- Frakturalter zur Zeit der Untersuchung
- Therapie
- evtl. Komplikationen der Heilung (definiert als verzögerte Heilungstendenz)
- röntgenologischer Befund zur Zeit der Untersuchung.

Das Gesamtkollektiv der untersuchten Patienten konnte in 17 Untergruppen oder 7 Vergleichsgruppen unterteilt werden:

(N = Anzahl der Frakturen)

- | | |
|------------------------------------|------|
| 1. a) alle Frakturen | N=30 |
| b) Frakturen der oberen Extremität | N=16 |
| c) Radiusfrakturen | N= 8 |

2.	a)	alle Frakturen	N=30
	b)	Frakturen der unteren Extremität	N=13
	c)	Tibiafrakturen	N=11
3.	a)	alle Kontrollpatienten (Erstuntersuchung)	N=13
	b)	alle Kontrollpatienten (Zweituntersuchung)	N=13
4.		Kontrollpatienten (um 80 Tage)	
	a)	(Erstuntersuchung)	N= 6
	b)	(Zweituntersuchung)	N= 6
5.		Kontrollpatienten (um 130 Tage)	
	a)	(Erstuntersuchung)	N= 7
	b)	(Zweituntersuchung)	N= 7
6.	a)	Therapie AO	N=11
	b)	Therapie konservativ	N=17
	c)	Komplikationen der Heilung	N= 6
7.	a)	Frakturalter zwischen 7 und 21 Tagen	N= 5
	b)	Frakturalter zwischen 22 u. 45 Tagen	N= 6
	c)	Frakturalter zwischen 46 u. 90 Tagen	N= 6

D. METHODE

I. Untersuchungsintervalle

Es wurde zur Knochenmarkierung Strontium-85-Chlorid in wässriger Lösung intravenös in einer Aktivität von 50 μCi injiziert.

Die Untersuchung erfolgte mit zwei Messungen.

Die 1. Messung fand einen Tag nach der Injektion statt, die 2. Messung sieben Tage nach der Strontiumapplikation.

Da bei 9 von insgesamt 27 Patienten die Frakturheilung kontrolliert wurde, wurde bei diesen Patienten 2 - 3 Monate nach der Erstuntersuchung eine Zweituntersuchung mit erneuter Strontium-85-Applikation (Dosis wieder 50 μCi) und den beiden Messungen jeweils einen und sieben Tage p.i. durchgeführt.

II. Untersuchungsapparatur und Meßzeit

Die Untersuchungen fanden unter Anwendung eines Meßplatzes "Nucleopan 2 K" (Siemens) statt. Der Kollimator hatte die Feldgröße 8 cm und wurde bei 90 % Empfindlichkeit direkt auf die jeweiligen Körperstellen aufgesetzt. Gemessen wurden die Impulsraten pro Minute über jeder Untersuchungsstelle nach Abzug des Nulleffektes.

III. Untersuchungsstellen (s. Abbildung 1)

Die Impulse des radioaktiven Isotopes wurden über allen Gelenken der 4 Extremitäten gemessen, außerdem über der Frakturstelle und der entsprechenden Stelle der kontralateralen Extremität.

Gemessen wurden deshalb alle Gelenke der 4 Extremitäten, obwohl meist nur eine Extremität von der Fraktur betroffen war, um (s. IV Auswerteverfahren):

- a) die der Fraktur benachbarten Gelenke in ihrer Strontiumaufnahme zu prüfen,
- b) Normalquotienten über völlig gesunden Gelenken zu erhalten,
- c) Quotienten der nicht frakturierten kontralateralen Extremität festzustellen und
- d) die Quotienten der frakturierten, nicht frakturierten und völlig unbetroffenen Extremitäten zu vergleichen.

Die Meßstellen waren im einzelnen (jeweils rechte und linke Seite):

	Abkürzung:
Frakturstelle	Fr
Schultergelenk	SchG
Ellbogengelenk	EG
Handgelenk	HaG
Gesamtheit der Fingergrund- u. Mittelgelenke	FG
Hüftgelenk	HüG
Kniegelenk	KG
Sprunggelenk	SpG
Gesamtheit der Zehengrund- u. Mittelgelenke	ZG

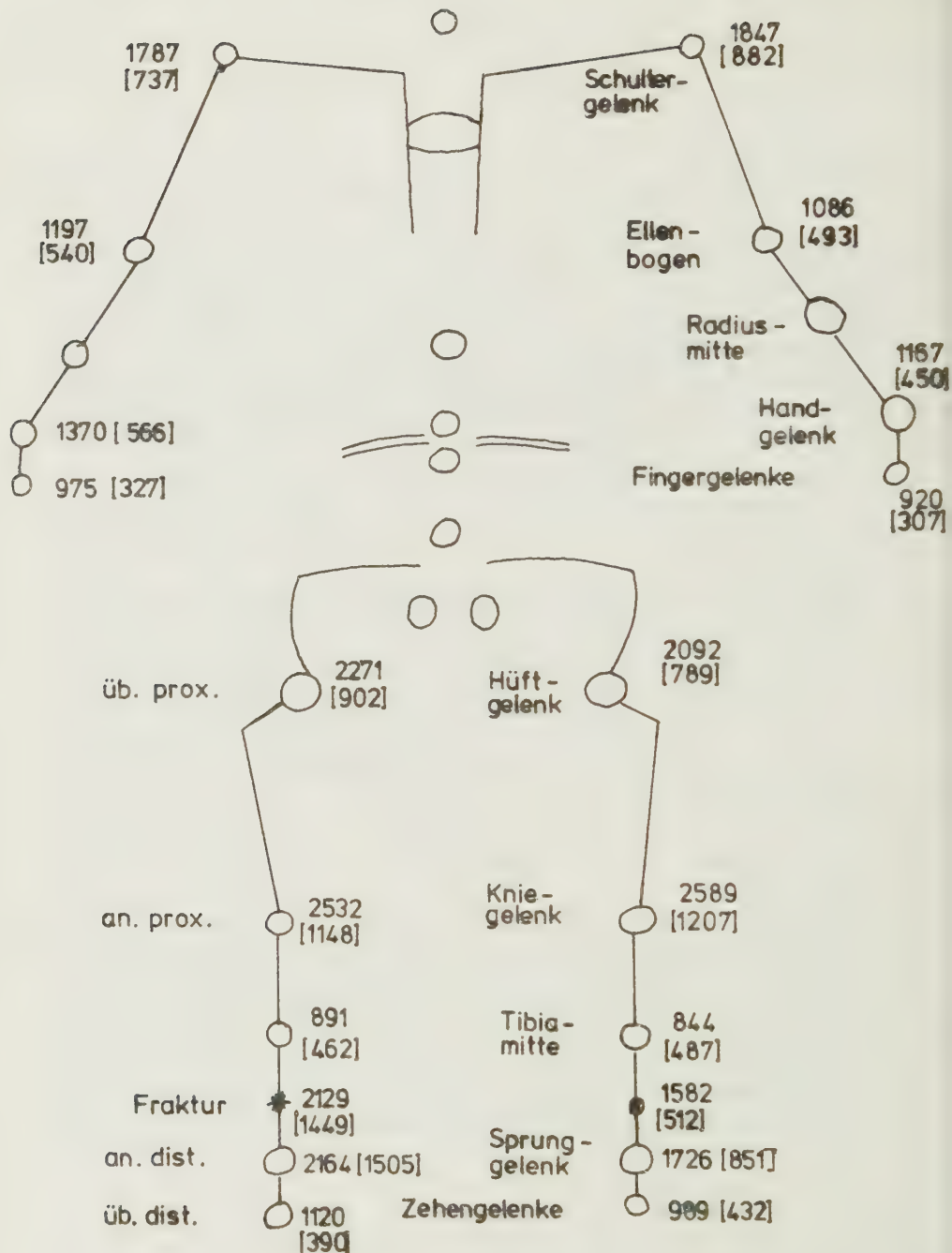


Abbildung 1 : Körperschema mit Impulsraten einer Tibiafraktur

Um Frakturen und ihre benachbarten Gelenke besser vergleichen zu können, wurden folgende vereinfachenden Zeichnungen eingeführt:

	Abkürzung:
Frakturstelle	Fr
angrenzendes Gelenk proximal	an.prox.
angrenzendes Gelenk distal	an.dist.
übernächstes Gelenk proximal	üb.prox.
übernächstes Gelenk distal	üb.dist.

Zwei Beispiele zur Erläuterung (s. Abbildung 1):

Radiusfraktur-Ellbogengl.-Handgl.-Schultergl.-Metacarpus
Fr - an.prox. -an.dist-üb.prox. -üb.dist.
oder

Tibiafraktur -Kniegelenk -Sprungggl.-Hüftgelenk-Metatarsus
Fr -an.prox. -an.dist.-üb.prox. - üb.dist.

IV. Auswertungsverfahren

Nachdem die Impulsraten über allen Extremitätengelenken gemessen waren, wurden die Quotienten der Impulsraten der einzelnen Gelenke gebildet, indem

- a) die Impulsraten des jeweiligen Gelenkes der frakturierten Extremität durch die Impulsraten des entsprechenden Gelenkes an der nichtfrakturierten Extremität dividiert wurden (Abkürzung: Frakturseite/Gegenseite oder Frs./Gegs.). Befand sich keine frakturierte Extremität in dem Seitenvergleich (z.B. beim Vergleich völlig gesunder Extremitäten), wurde der Quotient rechtes Gelenk/linkes Gelenk gebildet,
- b) die Impulsraten der einzelnen Gelenke durch die Impulsraten der gesunden Tibiamitte bzw. durch den Mittel-

wert aus beiden gesunden Tibiamitten dividiert wurden.
(Frakturseite/Tibiamitte, Abkürzung: Frs/Tibm)

Aus den unter gleichen Bedingungen erhaltenen Quotienten (gleiches Gelenk, Frakturseite/Gegenseite oder Frakturseite/Tibiamitte) wurden Mittelwerte errechnet, die die Ergebnisse bestimmt haben und die in Tabellen aufgeführt werden.

Die Mittelwerte der Quotienten wurden unter folgenden Aspekten ausgewertet:

- Untersuchung der absoluten Quotientengrößen und Prüfung des signifikanten Unterschiedes zwischen verschiedenen absoluten Quotientengrößen
- Untersuchung der Reihenfolgen nach Quotientengrößen an den 5 Meßstellen (Fr., an.prox., an.dist., üb.prox., üb.dist.)

E. ERGEBNISSE

Es wurden 27 Patienten mit insgesamt 30 Frakturstellen nach einmaliger Injektion von Strontium-85 einer 1. und 2. Messung unterzogen; bei 9 Patienten aus diesem Gesamtkollektiv, die insgesamt 13 Frakturen aufwiesen, wurde eine Zweituntersuchung nach einer zweiten Injektion von Strontium-85 untergleichen Bedingungen durchgeführt. Somit sind 43 Frakturstellen und die entsprechenden Stellen der kontralateralen Extremitäten auf ihr Verhalten im Knochenstoffwechsel mit Strontium-85 geprüft worden, wobei sich folgendes ergab:

1. an den Gelenken der frakturierten Extremitäten wurden bei 1. und 2. Messung meist und besonders an den Frakturstellen sehr viel größere Impulsraten gefunden als an den Gelenken der kontralateralen Extremität bzw. der der Fraktur entsprechenden Gegenstelle.
2. An den Frakturstellen nahmen die Impulsraten zwischen 1. und 2. Messung in 31 Fällen nur gering ab, in 12 Fällen stiegen sie noch weiter an.
3. An den entsprechenden Stellen der kontralateralen Extremitäten fielen die Impulsraten zwischen 1. und 2. Messung bei allen 43 Untersuchungen deutlich ab.

Daraus leitet sich ab, daß die Quotienten $\frac{\text{frakturierte Extremität}}{\text{kontralaterale Extremität}}$ immer größer als 1 waren, da die Impulsraten an der Frakturextremität immer größer waren als die der kontralateralen Extremität.

Außerdem war ein Quotientenanstieg zwischen 1. und 2. Messung immer darauf zurückzuführen, daß die Impulsraten an der kontralateralen Extremität in großem Maße kleiner wurden, während sie an der frakturierten Extremität etwa gleich groß blieben.

Ergebnisse des Quotientenvergleichs frakturierte Extremität/kontralaterale Extremität

I. Untersuchung der absoluten Quotientengrößen

1. Normaler und pathologischer Bereich

a) Streuung im Seitenvergleich Seite/Gegenseite bei Messungen über normal gesunden Gelenken:

Bei der Division von Impulsraten (rechte Seite/linke Seite), die über normal gesunden Gelenken ($N=20$) gefunden wurden, ergab sich, daß der Normalquotient $Q_n=1,04$ eine Standardabweichung von $\pm 0,11$ aufwies.

b) Prüfung der 5 Meßstellen der 17 Untergruppen, welche Quotienten bei der 1. und 2. Messung im Normalbereich zwischen $1,04$ und $1,15$ lagen. (Tabelle 1)

Bei Betrachtung der Tabelle 1 fiel bei der 1. Messung auf, daß in jeder Untergruppe Quotienten im Normalbereich zu finden waren, die meist den übernächsten Gelenken zuzuordnen waren. Eine Ausnahme bestand bei der 1. Messung der Kontrollpatienten während der Zweituntersuchung. Dort waren alle Quotienten im pathologischen Bereich, also größer als $1,15$.

Bei den Werten der 2. Messung fiel auf, daß lediglich in 2 Untergruppen (Frakturalter zwischen 7 und 21 Tagen und Frakturalter zwischen 22 und 45 Tagen) noch Quotienten im Normalbereich zu finden waren und zwar wiederum an den übernächsten Gelenken.

2. Quotientenbereiche der einzelnen Meßstellen bei 1. und 2. Messung (s. Abbildung 2)

Es wurde bei beiden Messungen untersucht, in welchem Bereich die Quotienten der einzelnen Meßstellen lagen.

1. Messung

Fraktur:	Q im Bereich von 1,32 - 2,76	
angrenz.Gelenk prox.:	"	1,10 - 1,55
angrenz.Gelenk dist.:	"	1,15 - 1,44
übernä. Gelenk prox.:	"	1,05 - 1,31
übernä. Gelenk dist.:	"	1,04 - 1,29

2. Messung

Fraktur:	Q im Bereich von 2,40 - 4,78	
angrenz.Gelenk prox.:	"	1,27 - 2,28
angrenz.Gelenk dist.:	"	1,26 - 2,32
übernä. Gelenk prox.:	"	1,06 - 1,51
übernä. Gelenk dist.:	"	1,01 - 1,55

Bei Betrachtung dieses Ergebnisses fiel folgendes auf:

- a) Die Quotienten der angrenzenden Gelenke proximal als auch die der angrenzenden Gelenke distal lagen etwa in demselben Bereich. Ebenso wiesen die übernächsten Gelenke proximal und distal von der Frakturstelle gleiche Werte in einem anderen Bereich auf.

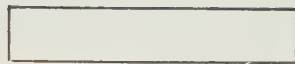
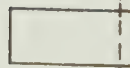
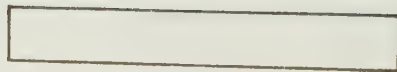
Das bedeutet, daß sich die Quotienten der jeweils pro-

5
4
3
2
1

1. Messung

4,78

2. Messung



Fraktur an.prox. an.dist. üb.prox. üb.dist.

Fraktur an.prox. an.dist. üb.prox. üb.dist.

Abbildung 2 : Quotientenbereiche von Frakturen und benachbarten

Gelenken

ximalen und distalen Gelenke nicht unterschieden, während sich die Quotienten der angrenzenden und übernächsten Gelenke sehr deutlich unterschieden.

Daher durfte die Tabelle vereinfacht werden:

1. Messung

Fraktur:	Q im Bereich von	1,32 - 2,76
angrenzende Gelenke:	"	1,10 - 1,55
übernächste Gelenke:	"	1,04 - 1,31

2. Messung

Fraktur:	Q im Bereich von	2,40 - 4,78
angrenzende Gelenke:	"	1,27 - 2,32
übernächste Gelenke:	"	1,01 - 1,55

- b) Die Quotienten nahmen mit zunehmendem lokalen Abstand von der Frakturstelle ab.
- c) Die Quotientenbereiche aller Meßstellen hatten bei der 2. Messung deutlich größere Minima und Maxima als bei der 1. Messung, die Quotienten waren also im Durchschnitt bei der 2. Messung überall beträchtlich größer als bei der 1. Messung.

3. Sonstige Ergebnisse der absoluten Quotientenwerte (s. Abbildung 3)

- a) Die absoluten Werte der Zweituntersuchung bei Kontrollpatienten waren bei der 1. Messung stets größer als die bei der Erstuntersuchung gefunden.
Bei der 2. Messung fielen die absoluten Werte der Zweituntersuchung im Gegensatz zu den Werten der Erstuntersuchung an der Frakturstelle ab.

1. Messung

2. Messung

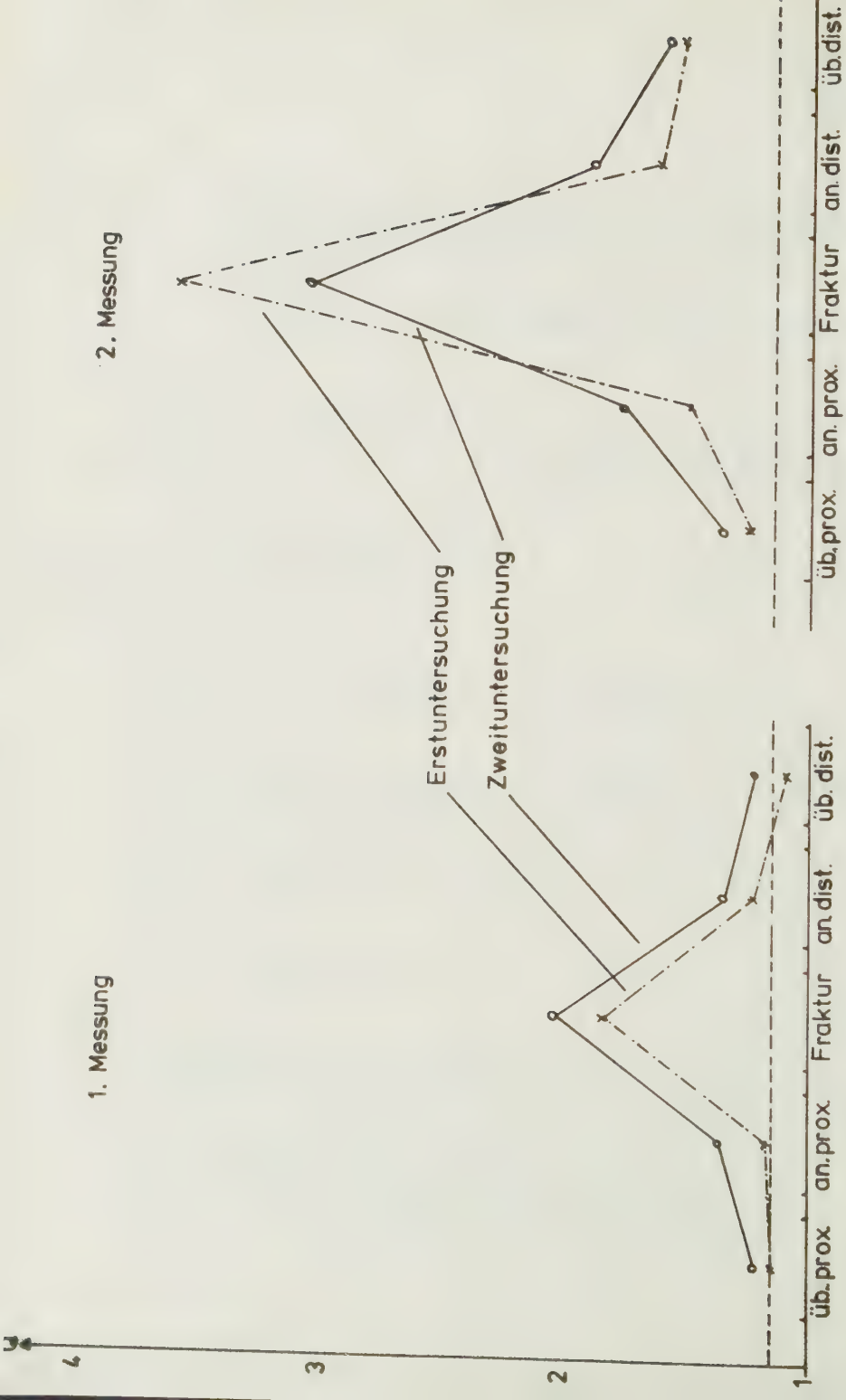


Abbildung 3 : Quotientenbereiche bei Erst- und Zweituntersuchung

(Ausnahme: Kontrollpatienten um 80 Tage bei der 2. Messung; dort war ein Anstieg von der Erst- zur Zweituntersuchung zu finden.)

An den angrenzenden und übernächsten Meßstellen wurde wie bei der 1. Messung auch bei der 2. Messung ein zahlenmäßiger Anstieg der Quotientengrößen von der Erst- zur Zweituntersuchung gefunden.

(s. Tabelle 2)

b) Der Anstieg der Quotienten an der Frakturstelle zwischen 1. und 2. Messung war bei den Zweituntersuchungen geringer als bei den Erstuntersuchungen; an den übrigen Meßstellen blieb der Anstieg etwa gleich groß. (s. Tabelle 2)

c) Beim Vergleich verschiedener Frakturalter (in Tagen) nahmen die Quotienten an der Frakturstelle wie folgt ab:

	1. Messung	2. Messung
Q1 : 7-21 Tage :	2,28	4,27
Q2 : 22-45 Tage :	1,66	3,02
Q3 : 46-90 Tage :	1,32	2,40

(s. auch Abbildung 4)

Das bedeutet, daß der Quotient an der Frakturstelle zahlenmäßig mit zunehmendem Abstand vom Frakturereignis kleiner wurde. Diese Reihenfolge galt nicht für Frakturkomplikationen.

4. Signifikanzuntersuchungen

Nach dem t-Test von Student wurde die Signifikanz mehrerer typischer Quotientenunterschiede zwischen verschiedenen Meßstellen geprüft :

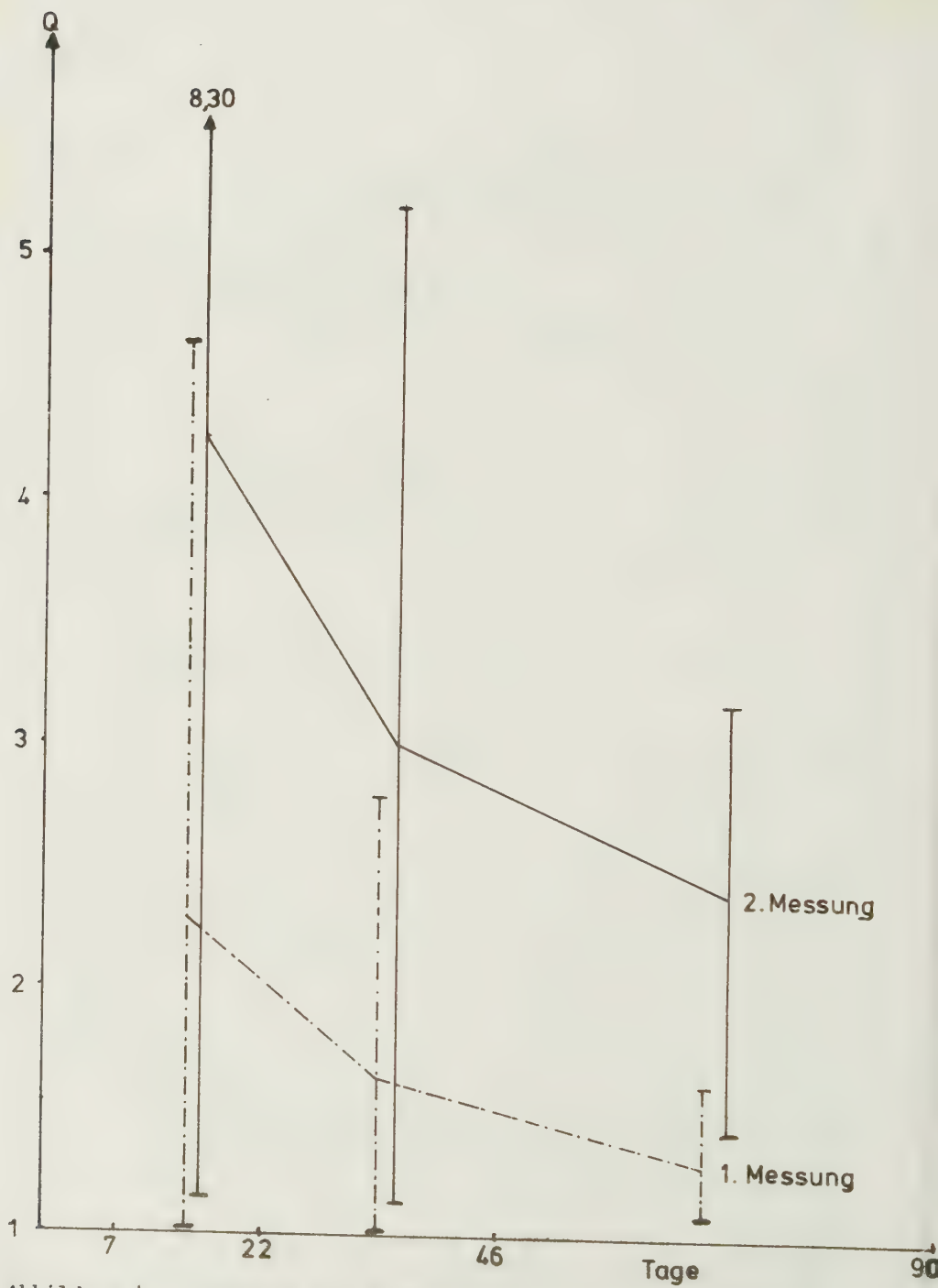


Abbildung 4 : Verhalten der Quotienten in Abhängigkeit vom Frakturalter

Signifikante Unterschiede wurden bewiesen zwischen:

Frakturstelle und angrenzendem Gelenk proximal bei allen Kontrollpatienten

Erstuntersuchung, 1. Messung : $p > 0,01$

Zweituntersuchung, 1. Messung : $p > 0,005$

Erstuntersuchung, 2. Messung : $p > 0,001$

Zweituntersuchung, 2. Messung : $p > 0,005$

Dieses Ergebnis bedeutet, daß ebenso signifikante Unterschiede bei 1. und 2. Messung zwischen allen Frakturstellen und allen übernächsten Gelenken bestanden.

Genauso unterschieden sich die Quotienten an der Frakturstelle zwischen 1. und 2. Messung signifikant.

Es ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen angrenzenden und übernächsten Gelenken, ebenso bestanden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Quotienten der Erst- und der Zweituntersuchung an diesen Meßstellen.

II. Untersuchungen über die Reihenfolge nach Quotientengröße (Q1-Q5) an den 5 Meßstellen

1. Reihenfolgeuntersuchungen bei allen 17 Untergruppen (s. Tabelle 3a für die 1. Messung und Tabelle 3b für die 2. Messung)

Bei Betrachtung der beiden Tabellen zeigt sich, daß bei beiden Messungen der größte Quotient immer an der Frakturstelle gefunden wurde, der zweit- und drittgrößte Quotient meist an den angrenzenden Gelenken und die beiden kleinsten Quotienten meist an den übernächsten

Gelenken, wobei die Unterschiede bei den Ergebnissen während der 2. Messung deutlicher wurden und daher die Abgrenzung besser durchzuführen war.

2. Sonstige Ergebnisse der Reihenfolge-Untersuchungen nach Quotientengröße

- a) Beim Vergleich von Frakturen an der oberen Extremität bzw. Radiusfrakturen mit Frakturen an der unteren Extremität bzw. Tibiafrakturen bei 1. und 2. Messung fällt auf, daß nach der Fraktur der zweitgrößte Quotient oben dem angrenzenden Gelenk proximal (z.B. Ellbogengelenk), unten aber dem angrenzenden Gelenk distal (z.B. Sprunggelenk) zuzuordnen war. (s. Tabelle 4 u. Abbildung 5)

- b) In der Vergleichsgruppe "Therapie AO-Therapie konservativ-Komplikationen der Heilung" war die Aufnahme von Strontium-85 im Bereich der Fraktur je nach Therapie verschieden, wobei folgende Reihenfolge bei 1. und 2. Messung gleich war:

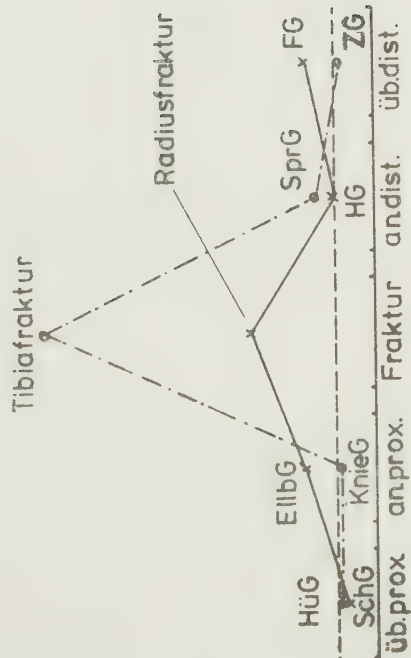
An der Frakturstelle wurde der größte Quotient bei den Komplikationen der Heilung gefunden, der zweitgrößte bei Therapie AO und der drittgrößte bei der konservativen Therapie.

Beim angrenzenden Gelenk proximal wurde bei beiden Messungen folgende Reihenfolge gefunden:

Der größte Quotient wurde wieder bei den Komplikationen der Heilung beobachtet, der zweitgrößte diesmal bei der konservativen Therapie und der kleinste unter der Osteosynthesetherapie.

Bei den übrigen Meßstellen konnte bei 1. und 2. Messung keine einheitliche Reihenfolge festgestellt werden. (s. Tabelle 5 u. Abbildung 6)

1. Messung



2. Messung

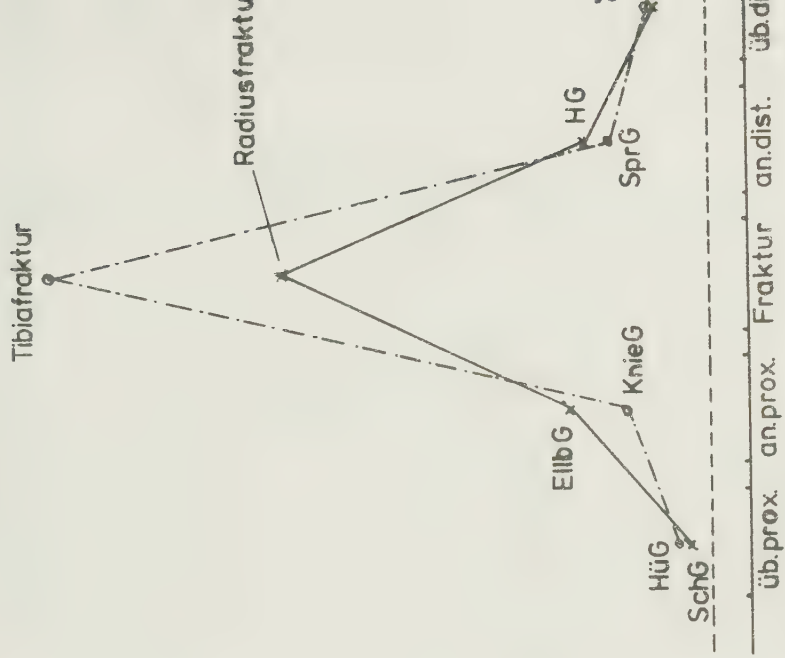


Abbildung 5 : Quotientenbereiche bei Radius- und Tibiafrakturen

1. Messung

2. Messung

--- Therapie konservativ

— Therapie AO

--- Komplikationen der Heilung

üb.prox. an.prox. Fraktur an.dist. üb.dist.

üb.prox. an.prox. Fraktur an.dist. üb.dist.

Abbildung 2 : Quotientenbereiche von Frakturen und benachbarten Gelenken

Gelenken

Ergebnisse des Quotientenvergleichs
Frakturseite/Tibiamitte

I. Untersuchung der absoluten Quotientengrößen

1. Normalwerte (über normal gesunden Gelenken):

	1. Messung	2. Messung
Schultergelenk	$2,02 \pm 0,42$	$1,57 \pm 0,29$
Ellbogengelenk	$1,27 \pm 0,32$	$1,14 \pm 0,23$
Handgelenk	$1,46 \pm 0,34$	$1,17 \pm 0,24$
Fingergelenke	$0,93 \pm 0,26$	$0,67 \pm 0,12$
Hüftgelenk	nicht genau meßbar	
Kniegelenk	$2,70 \pm 0,22$	$2,06 \pm 0,34$
Sprunggelenk	$2,26 \pm 0,22$	$1,93 \pm 0,22$
Zehengelenke	$0,95 \pm 0,31$	$0,78 \pm 0,36$

Die Anzahl der untersuchten normal gesunden Extremitäten
betrug oben: N=12
unten: N= 8

2. Signifikanzuntersuchungen

Signifikante Unterschiede bestanden zwischen den Quotienten an den frakturierten Extremitäten und den Quotienten an den kontralateralen Extremitäten bzw. den Quotienten der normal gesunden Gelenke bei beiden Messungen:

1. Messung $p > 0,05$
2. Messung $p > 0,025$

Die Unterschiede zwischen den Quotienten der kontralateralen Extremität und den Quotienten von normal gesunden Extremitäten waren nicht signifikant.

II. Untersuchungen der Reihenfolge nach Quotientengrößen

Aus den Werten der Tabelle 6 ergab sich, daß die Reihenfolge nach Quotientengrößen bei Radiusfrakturen bzw. Tibiafrakturen bei 1. und 2. Messung jeweils gleich war an frakturierter und kontralateraler Extremität.

Darüber hinaus wurde bewiesen, daß sich die Größe der Quotienten Frakturseite/Tibiamitte bzw. kontralaterale Extremität/Tibiamitte nach der Größe des Knochenanteils der Gelenke richtete, welche dem Strontiumeinbau zur Verfügung stand.

Die Frakturstelle enthielt trotz der relativ geringen Knochenmasse den größten Strontiumanteil, weil hier der größte Knochenumsatz (z.B. Kallusbildung) stattfand. An der entsprechenden Stelle der kontralateralen Extremität (Radius bzw. Tibia) war der Quotient der zweitniedrigste nach der Gesamtheit der Fingergelenke bzw. der Zehengelenke.

Ergebnisse der Sonderfälle s. Patientenprotokolle 23 - 27
(frakturierte Extremität/kontralaterale Extremität)

ad 23. Die Messungen nach 2 und 14 Tagen zeigten bei der: Radiusfraktur an allen Gelenken außer dem Ellbogengelenk sehr viel größere Werte als die entsprechenden Mittelwerte der nach einem und sieben Tagen gemessenen Patienten.

Femurfraktur an allen Gelenken im Gegensatz zu anderen Femurfraktur-benachbarten Gelenken relativ kleine Werte.

- ad 24. Hier konnte es keine definitive Aussage geben, da Frakturen im Bereich beider Hüftgelenke vorlagen.
- ad 25. Hier konnte ebenfalls keine definitive Aussage gemacht werden, da beide Tibiae frakturiert waren. Die Werte des frakturierten Armes lagen im Bereich der Mittelwerte der Radiusfrakturen.
- ad 26. Die Messungen fanden erst nach 6 und 11 Tagen statt. Der 6-Tage-Wert entsprach etwa dem 7-Tage-Wert der 2. Messung der vergleichbaren Patienten. Der 11-Tage-Wert war noch geringer.
- ad 27. Die Impulsraten über dem frakturierten im Wachstum zurückgebliebenen Arm waren wesentlich geringer als die an der gesunden kontralateralen Extremität.

Vergleich der Aussagen von Röntgenbildern und Strontium-85-"uptake"-Messungen im Frakturbereich mit angrenzenden Gelenken

Die "uptake"-Werte wurden nach ihrem Verhalten zum jeweiligen Mittelwert des Kollektivs interpretiert, d. h., alles, was über dem Mittelwert lag, galt als "unspezifischer Prozeß", alles, was darunter lag, galt als unauffällig.

Beim Vergleich der Diagnostikverfahren von 26 Frakturen (mit angrenzenden Gelenken) stellte sich heraus, daß die Aussagen, ob ein Prozeß irgendwelcher Art im Gange war oder nicht, in 15 Fällen gleich waren. In 9 Fällen sagte das Röntgenbild mehr aus als die Isotopendiagnostik und in 2 fraglichen Fällen war die Isotopendiagnostik informativer.

Auffällig war weiterhin, daß bei den 16 Frakturen mit konservativer Therapie das Röntgenbild in 7 Fällen mehr aussagte als das "uptake"-Verfahren und in 2 fraglichen Fällen die "uptake"-Messung mehr als das Röntgenbild und nur 7 Aussagen über eine Veränderung im Frakturbereich gleich waren, während unter der AO - Therapie (10 Frakturen) 8 Aussagen gleich waren und nur in 2 Fällen das Röntgenbild mehr Information bot.

Interessant ist (und vom Knochenstoffwechsel erklärbar) weiterhin die Tatsache, daß bei einer Arthrose im Röntgenbild (12 Fälle) die "uptake" - Werte in 8 Fällen über den Mittelwerten lagen, während bei einer reinen Osteoporose im Röntgenbild (7 Fälle) nur 2 "uptake" - Werte über dem Mittelwert lagen und damit auf einen Prozess hinwiesen.

F. DISKUSSION

I. Meßverfahren dieser Untersuchung

Die Bestimmung der Konsolidierungstendenzen frakturierter Knochen erfolgte in dieser Untersuchung nach Injektion von Strontium-85 mit Hilfe von "uptake" - Messungen an dem Meßplatz "Nucleopan 2 K" (Siemens). Dabei handelt es sich um bewegbare Meßköpfe, wobei die Gamma-Strahlen in Impulsen pro Zeiteinheit in einem Zählwerk registriert werden. Zur Untersuchung wurde der Kollimator über das jeweilige Gelenk direkt auf die Haut oder Kleidung aufgesetzt, während die Impulsraten pro Minute abgeleitet wurden.

II. Meßverfahren anderer Arbeitsgruppen

Meßtechnisch sind neben der "uptake" - Messung noch andere Verfahren in der Nuclearmedizin üblich. Dabei ist das Prinzip der Apparaturen immer das gleiche: Gamma-Strahlen werden über einen Kollimator auf einem Kristall mit einer dahinterliegenden Photokathode aufgefangen und über einen Sekundärelektronenverstärker zum Registriergerät gesendet. Es gibt jedoch verschiedene Arten der Registrierung:

bei der "uptake" - Messung werden die Impulsraten gezählt,
bei der "Kamera" - Messung erfaßt ein hochempfindlicher Detektor das interessierende Gebiet auf einmal und
bei der Szintigraphie gibt die Intensität der Schwärzungspunkte (oder bei der Farbszintigraphie die unterschiedliche Farbwahl) Auskunft über die Radioaktivität des darunter liegenden Gewebes.

Die bisher verwandten Nuclide haben verschiedene Eigenschaften. Schon 1935 konnte in Tierversuchen die Aufnahme von radioaktivem Phosphor in den Knochen nachgewiesen werden (CHIEWITZ u. HEVESY 1935). Da aber Phosphor-32 wie auch Schwefel-35 und Calcium-45 als Beta-Strahler für Menschen ungeeignet sind, stellte man mit verschiedenen Gamma-Strahlern weitere Untersuchungen an und kam zu folgenden Ergebnissen:

- | | |
|----------------|--|
| Calcium-47 | besitzt eine meßtechnisch schwer beherrschbare Energie von 1,39 MeV. |
| Fluor-18 | ist gut verwendbar, aber nur am Ort der Produktion, da die kurze HWZ von 110 Minuten einen Transport über größere Strecken nicht erlaubt. |
| Strontium-87-m | ist mit einer HWZ von 2,8 Stunden und einer meßtechnisch günstigen Gamma-Emission von 390 KeV ebenfalls gut verwendbar. |
| Strontium-85 | bietet bei einer HWZ von 64,8 Tagen zwar eine erhöhte Strahlenbelastung (daher sollte es nicht im regenerationsfähigen Alter verabreicht werden), andererseits aber können dank der langen Verweildauer des Nuclids im Körper die Messungen in bestimmten Zeitintervallen kontrolliert werden und vor allem ist es z. B. während einer "uptake" - Messung, die über allen Gelenken etwa 45 Minuten dauert, einigermaßen sicher, daß von Anfang bis Ende der Messung überall im Körper annähernd die gleichen radiologischen Bedingungen herrschen. |

III. Problemstellung der eigenen Arbeit und Ergebnisse

Hier interessierte nach Strontium-85-Applikation und mehrmaligen Kontrollmessungen der Heilungsverlauf von Frakturen unter besonderer Beobachtung des Stoffwechsels von benachbarten Gelenken und Gelenken der nicht frakturierten kontralateralen Extremität.

Verhalten der Impulsraten allgemein

1. a) Die Impulsraten über allen Gelenken der Fraktur-
extremität waren immer größer als die der kontrala-
teralen Extremität.
b) Die Impulsraten über den normal gesunden Gelenken
der einen Seite waren gleich denen der entsprechen-
den Gelenke der anderen gesunden Seite.
c) Die Impulsraten waren über jeder Gelenksart (z.B.
Fingergelenke oder z.B. Kniegelenke) verschieden und
entsprachen der Größe des jeweiligen Knochenanteils,
also: kleiner Knochenanteil (z.B.FingerG)-kleine I.R.
großer Knochenanteil (z.B. KnieG) -große I.R.
2. Ein Quotientenanstieg zwischen 1. und 2. Messung war
immer darauf zurückzuführen, daß die Impulsraten an
der kontralateralen Extremität deutlich abfielen,
während sie an der frakturierten Extremität etwa
gleich groß blieben.

Ergebnisse: frakturierte Extremität/kontralaterale Extremität

1. Bei der Differenzierung der benachbarten Gelenke in
proximale und distale Gelenke zeigte es sich, daß
die Quotienten der jeweils proximalen und distalen

Gelenke etwa gleich groß waren. Die Differenzierung der benachbarten Gelenke in angrenzende und übernächste Gelenke war sehr wichtig, da sich die Quotienten der angrenzenden und übernächsten Gelenke sehr deutlich, aber nicht signifikant voneinander unterschieden.

2. Die Quotienten nahmen mit zunehmendem lokalen Abstand von der Frakturstelle ab. (s. Abbildung 2)
3. Die Quotienten aller Meßstellen waren bei der 2. Messung beträchtlich größer als bei der 1. Messung. (s. Abbildung 2)
4. Vergleiche zwischen Erst- und Zweituntersuchung (s. Abbildung 3)
 - a) Bei Kontrollpatienten waren die Quotienten der Zweituntersuchung bei der 1. Messung stets größer als die bei der Erstuntersuchung gefundenen. Die Quotienten der Zweituntersuchung waren bei der 2. Messung speziell an der Frakturstelle kleiner als die bei der Erstuntersuchung gefundenen. (Ausnahme: Kontrollpatienten um 80 Tage; dort war ein Anstieg von der Erst- zur Zweituntersuchung an der Frakturstelle zu finden.). - An den angrenzenden und übernächsten Meßstellen wurde wie bei der 1. Messung auch bei der 2. Messung ein zahlenmäßiger Anstieg der Quotienten Größen von der Erst- zur Zweituntersuchung gefunden.
 - b) Der Anstieg der Quotienten an der Frakturstelle zwischen 1. und 2. Messung war bei den Zweituntersuchungen geringer als bei den Erstuntersuchungen; an den übrigen Meßstellen blieb der Anstieg etwa gleich groß.
 - c) Die unter a) und b) gefundenen Unterschiede waren nicht signifikant.
5. Beim Vergleich verschiedener Frakturalter in Tagen ergab sich, daß die Quotienten an den Frakturstellen

zahlenmäßig mit zunehmendem Abstand vom Frakturereignis kleiner wurden. Dies galt nicht für Frakturkomplikationen. (s. Abbildung 4)

6. Signifikante Unterschiede bestanden:

- a) Bei 1. und 2. Messung zwischen allen Frakturstellen und allen angrenzenden Gelenken bzw. allen Frakturstellen und allen übernächsten Gelenken.
- b) Bei allen Frakturstellen zwischen 1. und 2. Messung

7. Beim Vergleich von Frakturen an der oberen Extremität bzw. Radiusfrakturen mit Frakturen an der unteren Extremität bzw. Tibiafrakturen bei 1. und 2. Messung fiel auf, daß nach der Fraktur der zweitgrößte Quotient an der oberen Extremität dem angrenzenden Gelenk proximal (z.B. Ellbogengelenk), an der unteren Extremität aber dem angrenzenden Gelenk distal (z.B. Sprunggelenk) zuzuordnen war.

8. In der Vergleichsgruppe "Therapie AO-Therapie konservativ-Komplikationen der Heilung" war die Aufnahme von Strontium-85 im Bereich der Fraktur je nach Therapie verschieden, wobei folgende Reihenfolge bei 1. und 2. Messung gleich war:

an der Frakturstelle wurde der größte Quotient bei den Komplikationen der Heilung gefunden, der zweitgrößte bei Therapie AO und der drittgrößte bei Therapie Konservativ

Beim angrenzenden Gelenk proximal wurde bei beiden Messungen folgende Reihenfolge gefunden: der größte Quotient wurde wieder bei Komplikationen der Heilung beobachtet, der zweitgrößte diesmal bei Therapie konservativ und der niedrigste bei Therapie AO.

An den übrigen Meßstellen konnte bei 1. und 2. Messung keine einheitliche Reihenfolge festgestellt werden. (s. Abbildung 6)

Gedeutet werden kann dieser Befund einerseits als starke Fremdkörperreaktion des Körpers auf das Metall an der Frakturstelle, andererseits wird damit deutlich, daß unter der konservativen Therapie die benachbarten Gelenke teilweise sehr viel stärker in den Stoffwechsel der Fragmente einbezogen werden (z.B. Inaktivitätsatrophie u.a.) als unter der AO-Therapie.

Ergebnisse:frakturierte Extremität/Tibiamitte

1. Signifikante Unterschiede bestanden bei beiden Messungen zwischen den Quotienten der frakturierten Extremitäten und den Quotienten an den kontralateralen Extremitäten bzw. den Quotienten der normal gesunden Gelenke.
2. Unterschiede zwischen den Quotienten der kontralateralen Extremitäten und den Quotienten von gesunden Extremitäten waren zwar ersichtlich, aber nicht signifikant.

Vergleich: Röntgenbilder und Strontium-85-"uptake"-Messungen

Beim Vergleich der Diagnostikverfahren von 26 Frakturen (mit angrenzenden Gelenken) stellte sich heraus, daß die Aussagen, ob ein Prozeß irgendwelcher Art im Gange war oder nicht, in 15 Fällen gleich waren. In 9 Fällen sagte das Röntgenbild mehr aus als die Isotopendiagnostik und in 2 fraglichen Fällen war das "uptake"-Verfahren informativer.

IV. Ergebnisse anderer Autoren

Sowohl CHIEWITZ u. HEVESY (1935) wie COPP u. GREENBERG (1945) stellten bei tierexperimentellen Untersuchungen eindeutig fest, daß sowohl Phosphor wie Calcium und Strontium im Bereich experimenteller Frakturen von Versuchstieren vermehrt eingelagert wurden. Dasgleiche galt für Natrium-, Schwefel- und Zinkisotope.

Die Speicherung schien umso höher zu sein, je länger das Intervall zwischen Verabreichung und Messung war. Bei gleichbleibendem Intervall zwischen Verabreichung und Messung zeigte sich eine Abhängigkeit zwischen Trauma und Verabreichung mit einem Maximum der Anreicherung an Ratten zwischen 10 und 15 Tagen (SOLHEIM 1965). Die Aufnahme rate war an den Frakturstellen bedeutend größer als in normalen Knochen. (BOHR u. SORESENSEN 1950 und BAUER 1954)

Bei Frakturuntersuchungen mit Radionucliden an Menschen zeigten BAUER u. WENDEBERG (1959), daß unter Calcium-47- und Strontium-85-Applikation

1. im Frakturbereich eine mehrfach erhöhte Aufnahme stattfand
2. nach 14 Tagen ein höheres Zählratenverhältnis zwischen frakturiertem und gesundem Unterschenkel gemessen werden konnte als nach 7 Tagen
3. bei Messungen an gebrochenen Schienbeinen an den Frakturseitengelenken und Gegenseitengelenken 1 und 2 Wochen nach Verabreichung des Indikators (wobei Intervall zwischen Trauma und Injektion variabel war) die Aktivität über den Kniegelenken während der ersten Monate nach dem Frakturereignis keinen Unterschied zwischen verletzter und unverletzter Unterschenkelseite zeigte.

Nach längeren Intervallen wurde auf der unverletzten Seite aber über dem unverletzten Kniegelenk eine etwa dreifach so große Aktivität gefunden als über dem gleichfalls unverletzten Kniegelenk des gegenseitigen traumatisierten Beines und als Ausdruck kompensatorisch erhöhter Belastung interpretiert. Diese vermehrte Aufnahme normalisierte sich erst im Verlauf von 2 Jahren, während die relativ erhöhte 1 und 2 Wochen - Anreicherung von Strontium-85 im Bereich der Fraktur erst zwischen 6 und 9 Jahren verschwand. (WENDEBERG 1961)

Szintigraphische Untersuchungen an Patienten mit frischen und älteren Frakturen, mit Hüftarthrodesen und hüftnahen Osteotomien wurden 3 - 10 Tage nach Verabreichung von 40 - 60 μ Ci Strontium-85 durchgeführt und durch Impulsratenzählung im Impulsratenmaximum ergänzt. An Patienten mit Frakturen wurden die höchsten Impulsraten über der Fraktur zwischen 3 und 4 Wochen nach dem Trauma gemessen. Mit zunehmendem Frakturalter wurde ein "Absinken" der Zählraten (d.h. ein weniger erhöhter Anstieg als anlässlich der Voruntersuchung) beobachtet. Frakturen, die 2 Jahre oder länger zurücklagen, zeigten praktisch normale Meßresultate. Abnorm hohe Anreicherung von Radiostrontium war bei Frakturen entweder als Zeichen einer Infektion oder einer Instabilität der Fragmente zu interpretieren. (BESSLER 1967)

V. Klinische Bedeutung des Strontium-85-"uptake"-Verfahrens zur Diagnostik bei Frakturheilung

1. Allgemeines zur Isotopendiagnostik

Bei dem "uptake"-Meßverfahren sind Ungenauigkeiten des Ergebnisses aus folgenden Gründen möglich:

- Die Meßstellen sind nicht genau definiert. Es bleibt mehr oder weniger dem Geschick des Untersuchenden überlassen, wie genau der Kollimator über den Gelenken und Frakturstellen eingesetzt wird, ob im Suchfeld des Detektors mehr oder weniger Knochen und damit radioaktiv gekennzeichnetes Material liegt. So findet jede Messung nur unter annähernd gleichen Bedingungen statt.
- Einzige Bezugswerte sind die Mittelwerte aus verschiedenen Untersuchungen, die je nach Patientenkollektiv schwanken.
- Die Anreicherung der Bezugsregion ist abhängig von Frakturalter, Therapieart und Heilungstendenz.
- Es liegt unter Umständen keine geeignete Bezugsregion vor (wenn z.B. beide unteren oder oberen Extremitäten frakturiert sind), s. Patient Nr. 25.

FUEGER (1973) stellte darüber hinaus für szintigraphische Untersuchungen fest, daß große Schwankungen der Werte zustande kommen, weil

- durch verschiedene Ausbildung von Meßköpfen und Kollimatoren verschieden große Volumina gemessen werden
- die Anreicherung von Strontium-87-m (und wahrscheinlich anderer osteotroper Isotope) verschieden schnell in Fraktur und normalem Knochen und verschieden stark in bezug auf das regionale Blutvolumen wächst. Daher ändert sich das Verhältnis der extern meßbaren Aktivitäten zwischen

Frakturbereich und normalem Knochen mit dem Intervall zwischen Injektion und Messung.

2. Allgemeines zur Röntgendiagnostik

Heutzutage wird zur Kontrolle von Frakturen die Röntgendiagnostik am meisten angewandt. Schwierigkeiten in der Beurteilung der Frakturheilung (FUEGER 1973) entstehen dadurch, daß

- die Durchblutung eines Knochenteils nicht nachgewiesen werden kann und nicht quantifizierbar ist,
- Knochenneubildung durch Überlagerung im Röntgenbild verborgen bleiben kann,
- Demineralisierung im Röntgenbild erst erkennbar wird, wenn sie ein beträchtliches Ausmaß (über 30 %) erreicht hat und
- Atrophie, Devitalisierung und beginnende Revitalisierung von Knochen während bestimmter Stadien nicht differenzierbar sind.

3. Vergleich der Aussagen von Röntgenbildern, Strontium-85-"uptake"-Messungen und Strontium-87-m -Szintigraphie bei verschiedenen Knochenerkrankungen einschließlich Frakturen

Die Aussagen von Röntgenbildern sind in der Regel bei Frakturereignissen eindeutiger und spezifischer (in Bezug auf Arthrose oder Osteoporose in frakturnahen Gelenken) als die Strontium-85-"uptake"-Ergebnisse.

Daneben hat die Röntgendiagnostik den Vorteil, daß sie technisch einfacher durchzuführen ist und den Patienten normalerweise nicht einer so großen Strahlenbelastung aussetzt.

Sicherlich könnte man die Aussagen des "uptake"-Verfahrens nach einer größeren Untersuchungsserie differenzierter interpretieren und unter Umständen z.B. aus dem prozentualen Anstieg der Quotienten zwischen 1. und 2. Messung besser auf die Grundkrankheit schließen, aber auch andere Autoren haben (allerdings bezüglich der Strontium-Skelettszintigraphie) folgende Erfahrung gemacht:

Zu dem Strontiumuntersuchungsverfahren kann prinzipiell ausgesagt werden, daß es nur über die An- und Abbauvorgänge im Knochen Aussagegewert besitzt, also von der Natur des zugrundeliegenden Prozesses unabhängig und somit unspezifisch ist. Die klinische Bedeutung für die Lokalisation und den Ablauf einer Knochenerkrankung ist unumstritten. Zur Klärung des pathologischen Affektes müssen in jedem Fall andere diagnostische Mittel wie die Röntgenologie usw. herangezogen werden.

Zu verschiedenen Knochenerkrankungen:

Die Szintigraphie ist eine Ergänzung der Röntgendiagnostik. Der Vorteil dieser Methode gegenüber dem Röntgenbild ist, daß sie bereits Veränderungen des Knochenstoffwechsels erfassen kann, bei denen die Makrostruktur röntgenologisch noch intakt erscheint. (GYNNING u.a. 1961, COREY u.a. 1962, SKLAROFF u. CHARKES 1963, 1964, ROSENTHALL 1964, 1965, SIMPSON u.a. 1965, KOLAR u.a. 1967, FREY u.a. 1967)

Bei primären und sekundären Knochentumoren hat die Szintigraphie deshalb fast ausschließlich die Bedeutung einer Frühdiagnostik (FASSBENDER 1968, ROSENTHALL 1965). Außerdem ist in diesem Sinne auch eine exaktere Bestimmung der Ausdehnung pathologischer Prozesse möglich (FREY 1967, 1968, FASSBENDER 1968)

Zu Frakturen:

FUEGER (1973) stellte bei szintigraphischen Untersuchungen mit Strontium-87-m an Unterschenkelfrakturen fest, daß während der normalen Heilung von diesen Frakturen anfänglich eine relative Zunahme und später Rückbildung der erhöhten Durchblutung nachzuweisen ist. Dagegen besteht bei pathologischer Frakturheilung eine Resistenz der erhöhten Durchblutung und bei Sudeckscher Dystrophie oder Infektion Ausbreitung derselben auf Bezirke außerhalb des Frakturbereiches.

An Unterschenkelfrakturen mit multiplen Fragmenten konnte das Fehlen oder Vorhandensein der Durchblutung isolierter Fragmente durch die Szintigraphie frühzeitig diagnostiziert werden.

Szintigramme von Osteosynthesen an Kaninchen und Menschen ließen erkennen, daß eine verbesserte Stabilisierung ein schnelleres Abklingen der relativ erhöhten Durchblutung des Frakturbereichs zur Folge hatte. So konnte durch die regional differenzierte Darstellung der Knochendurchblutung im Szintigramm der Heilungsverlauf einer Fraktur verfolgt, die Frage der Belastbarkeit früher bejaht oder verneint, und eine abnorme Frakturheilung besser beurteilt werden.

Es ist zu vermuten, daß auch mit dem "uptake"-Verfahren (ähnlich wie bei der Szintigraphie) früher als im Röntgenbild ein Urteil in bezug auf die Belastbarkeit einer frakturierten Extremität gefällt werden kann, jedoch müßte dies noch genauer erforscht werden bzw. müßte grundsätzlich der Vorteil des Strontium-85-Verfahrens gegenüber anderen Diagnostikarten zum Frakturheilungsverlauf bewiesen werden.

G. ZUSAMMENFASSUNG

Es wurden 27 Patienten mit insgesamt 30 Frakturstellen nach einmaliger Injektion von Strontium-85 einer 1. und 2. Messung (jeweils 1 Tag p.i. und 7 Tage p.i.) im "uptake"-Verfahren unterzogen. Bei 9 Patienten aus diesem Gesamtkollektiv, die insgesamt 13 Frakturen aufwiesen, wurde eine Zweituntersuchung 2 - 3 Monate später nach erneuter Strontium-85-Injektion unter gleichen Bedingungen durchgeführt. Die Dosis betrug jeweils 50 μ Ci. Gemessen wurden die Impulsraten über allen Gelenken der 4 Extremitäten, wobei aus der Summe der Quotienten (gebildet aus: Impulsraten der Meßstellen über der frakturierten Extremität geteilt durch Impulsraten über analogen Meßstellen der kontralateralen Extremität) Mittelwerte errechnet wurden, die die Ergebnisse bestimmt haben.

Nach der Verlaufskontrolle der Frakturheilung über Frakturen und benachbarten Gelenken konnten folgende Beobachtungen gemacht werden:

1. a) Die Impulsraten über allen Gelenken der Fraktur Extremität waren immer größer als die der kontralateralen nicht frakturierten Extremität.
b) Die Impulsraten waren über jeder Gelenksart (z.B. Fingergelenke oder Kniegelenke) verschieden und entsprachen der Größe des jeweiligen Knochenanteils.
2. Der Quotientenanstieg zwischen 1. und 2. Messung war immer darauf zurückzuführen, daß die Impulsraten an der

kontralateralen Extremität deutlich abfielen, während sie an der frakturierten Extremität etwa gleich groß blieben.

3. Die Quotienten von Frakturstelle und angrenzenden bzw. übernächsten Gelenken unterschieden sich signifikant voneinander. Die Quotienten der angrenzenden und übernächsten Gelenke unterschieden sich zwar nicht signifikant, aber deutlich voneinander. Das bedeutet, daß die Quotienten mit zunehmendem lokalen Abstand von der Frakturstelle abnahmen.
4. Beim Vergleich zwischen Erst- und Zweituntersuchung zeigte sich, daß die Quotienten bei der 2. Messung der Zweituntersuchung speziell an der Frakturstelle kleiner waren als die bei der 2. Messung der Erstuntersuchung gefundenen. An angrenzenden und übernächsten Gelenken stiegen die Quotienten weiter an. Das bedeutet, daß die Quotienten mit zunehmendem Abstand vom Frakturereignis zuerst an der Frakturstelle zahlenmäßig abnahmen.
5. Beim Vergleich von Radius- und Tibiafrakturen wurde der größte Quotient jeweils an der Frakturstelle gefunden, während der zweitgrößte Quotient an der oberen Extremität über dem Ellbogengelenk (angrenzendes Gelenk proximal), an der unteren Extremität aber über dem Sprunggelenk (angrenzendes Gelenk distal) gefunden wurde.
6. Unter AO - Therapie waren die Quotienten an der Frakturstelle (bezogen auf die jeweiligen Mittelwerte) meist größer als unter der konservativen Therapie (1. Messung: 8 von 11, 2. Messung: 9 von 11), während an den direkt proximal benachbarten Gelenken die Quotienten unter der konservativen Therapie teilweise sehr viel größer waren (1. Messung: 7 von 16, 2. Messung: 8 von 16) als unter der Osteosynthese - Therapie.

Während bisher mit Hilfe der konventionellen Röntgenmethoden bei der Frakturheilung lediglich dem lokalen Geschehen: der Fraktur, dem Frakturspalt, der Kallusbildung und der Stellungskontrolle nach Reposition Aufmerksamkeit geschenkt wurde, können nunmehr mit Hilfe von radioaktiven Isotopen die Stoffwechselvorgänge im Bereich von Fraktur und benachbarten Gelenken beobachtet werden. Die Isotopendiagnostik erlaubt es außerdem, pathologische Vorgänge frühzeitig zu erfassen. Die vorliegenden Ergebnisse der Strontium-85-"uptake"-Messungen lassen folgende Interpretationen zu:

Anhand der Abnahme der Quotienten an Frakturstelle und benachbarten Gelenken während mehrerer zeitlich nacheinander folgender Kontrollen darf auf einen Prozeß im Sinne einer Konsolidierung und Heilung der Fraktur geschlossen werden. Bleiben die Quotienten an der Frakturstelle und den angrenzenden Gelenken wochen- und monatelang über dem Normalbereich oder steigen sogar noch an, darf man mit einem permanent erhöhtem Stoffwechsel, also mit einer schlechten Heilungstendenz (einer Komplikation) der Frakturheilung im Sinne von entzündlichem oder dystrophischem Geschehen (z.B. Sudeckscher Dystrophie) oder ungenügender Stabilisierung der Fragmente rechnen.

H. ANHANG

I. Patientenprotokolle

II. Tabellen

III. Literaturverzeichnis

I. Patientenprotokolle

Patienten mit einer Untersuchung

1. 71-jähriger Patient

Tibiakopftrümmerfraktur

Frakturalter: 69o Tage

Therapie: Osteosynthese (AO)

Palakoseinlagerung

Komplikation: über der Fraktur ein permanent nässender
2 x 5 cm großer Weichteildefekt.

Röntgenbefund: Palakos im Tibiakopf, beginnend 2 Quer-
finger (= QF) unterhalb des Tibiatisches,
dazu Platten und Schrauben in reichlicher
Menge. Schrägfraktur im oberen Tibiaviertel
konsolidiert. Arthrotische Ausziehungen an
den Interkondylenhöckern sowie Verschmälernng
des medialen Gelenkspaltes mit Verdacht auf
gleichseitige Meniskusverkalkung.

2. 45-jähriger Patient

Fraktur des os naviculare

Frakturalter: 21o Tage

Therapie: konservativ, Spongiosaplastik, Krankengym-
nastik (= KrG)

Röntgenbefund: Pseudarthrose im ulnaren navicularen
Drittel, fleckige Entkalkung der Handwurzel-
knochen sowie im Bereich der radialen Ge-
lenkfläche. Sekundäre arthrotische Verände-
rungen.

3. 32-jähriger Patient

Tibiakopffraktur

Olekranonfraktur

Frakturalter: 650 Tage

Therapie: Tibia: konservativ, KrG

Olekranon: AO (Schraube und Zuggurtung aus Draht)

Komplikation: Abriß des Olekranon, breit klaffender Frakturspalt, der sich auch durch die Kallusbrücke fortsetzt. Pseudarthrose des Olekranon.

Röntgenbefund: Im Bereich des betroffenen Kniegelenkes Hinweise für einen arthrotischen Prozeß. Im Olekranon-Ulnarbereich große Schraube und Zuggurtung aus Drähten. Beim Vergleich mit älteren Röntgenbildern besteht eine gering fortschreitende Durchbauungstendenz bei Fortbestehen arthrotischer Veränderungen.

4. 41-jähriger Patient

Tibiakopftrümmerfraktur

Frakturalter: 133 Tage

Therapie: AO (Platten und Schrauben, die kurz vor der Untersuchung herausgenommen worden sind.)

Komplikation: über der Fraktur nässender Weichteildefekt

Röntgenbefund: Fleckige Entkalkung im Bereich von Kniegelenk und Patella, arthrotische Veränderungen an den Interkondylenhöckern, zahlreiche Schraubenlöcher in dem proximalen Tibiabereich, Entkalkung im Fibulakopf, teilweise noch sichtbare breite Frakturlinien, die aber stellenweise durchbaut sind.

5. 48-jährige Patientin

Fraktur des Malleolus fibulae

Frakturalter: 54 Tage

Therapie: AO (rush-pin)

Röntgenbefund: rush-pin in situ fibulae distalis.

Frakturspalt durchbaut, unauffälliges

Sprunggelenk. Verlauf: gute Stellung von

Anfang an, zügige Durchbauung, keine

Osteoporose.

6. 41-jährige Patientin

Tibiaschrägfraktur im mittleren Drittel

Frakturalter: 270 Tage

Therapie: AO (Platten und Schrauben)

Röntgenbefund: Osteoporose im benachbarten Sprung-
gelenk.

7. 51-jähriger Patient

Olekranonfraktur

Fraktur im os metacarpale I

Frakturalter: 73 Tage

Therapie: Olekranon: konservativ, KrG

os metacarpale I: konservativ, Hauttrans-
plantation, KrG

Komplikation: s. Röntgenbefund

Röntgenbefund: Sudecksche Dystrophie im Handgelenk

8. 69-jährige Patientin

distale Radiusfraktur

Frakturalter: 32 Tage

Therapie: konservativ, KrG

Röntgenbefund: ausreichende Achsenstellung

9. 70-jährige Patientin
distale Radiusfraktur
Frakturalter: 55 Tage
Therapie: konservativ, KrG
Röntgenbefund: Radiusfraktur an typischer Stelle
(distal) bei guter Stellung ad axim et
ad longitudinem, arthrotische Veränderungen
im Handgelenk
10. 44-jähriger Patient
Radiusfraktur
Frakturalter: 9 Tage
Therapie: konservativ, KrG
Röntgenbefund: Trümmerfraktur des distalen Radius
steht gut und zeigt reguläres Verhalten.
11. 62-jährige Patientin
Tibiakopffraktur
Frakturalter: 218 Tage
Therapie: AO (Schraube)
Röntgenbefund: linkes Knie: Schraube quer zum Tibiakopf lateralisiert. Stufenbildung lateral der Interkondylen in der Gelenkfläche, osteophytäre Randkantenausziehung lateralwärts sowie freie Gelenkkörper.
Rechtes Knie: geringe degenerative Veränderungen.
12. 64-jähriger Patient
Humeruskopffraktur
Frakturalter: 20 Tage
Therapie: konservativ, KrG
Röntgenbefund: Humeruskopffraktur links mit Einwärtsrotation des proximalen Frakturanteils.

13. 50-jähriger Patient

Humeruskopffraktur

Frakturalter: 38 Tage

Therapie: konservativ, KrG

Röntgenbefund: beginnende Kallusbildung und Durch-
bauung, ausreichende Achsenstellung.

Patienten mit Erst- und Zweituntersuchung

14. 49-jähriger Patient

Tibiatrümmerfraktur im mittleren Drittel

Frakturalter: 168 Tage

Therapie: AO (Platten und Schrauben)

Komplikation: Pseudarthrose

Röntgenbefund: Im distalen Unterschenkel und im Sprung-
gelenk verminderte Mineralisation vermutlich
als Ausdruck einer Osteoporose. Frakturspalt
nach wie vor nicht knöchern durchbaut.

Zweituntersuchung: 136 Tage nach der Erstuntersuchung

15. 39-jähriger Patient

distale Femurfraktur

Frakturalter: 14 Tage

Therapie: AO (Platten und Schrauben)

Röntgenbefund: splitternde T-förmige Kondylenfraktur,
degenerative Kantenausziehungen

Zweituntersuchung: 120 Tage nach der Erstuntersuchung

16. 80-jährige Patientin

Radiusfraktur

Fraktur der Mittelphalanx des Zeigefingers an demselben Arm

Frakturalter: 43 Tage

Therapie: konservativ, KrG

Röntgenbefund: Platten und Schrauben in situ Ulna und Radiusmitte, Lymphödem radialwärts, fleckige Entkalkung im Bereich des Handgelenks.

Zweituntersuchung: 134 Tage nach der Erstuntersuchung.

17. 72-jährige Patientin

Humeruskopffraktur

Fraktur im oberen Fibuladrittel

Frakturalter: 38 Tage

Therapie: Humerus: konservativ, KrG

Fibula: konservativ, KrG

Röntgenbefund: Alte Fraktur am Humerushals links und am distalen Claviculaviertel. Arthrose im Acromio-Claviculargelenk links.

Jetzt: Zustand nach Claviculafraktur rechts mit relativ guter Achsenstellung und guter Durchbauung und reichlicher Kallusbildung.

Zustand nach subcapitaler Humerusfraktur mit deutlicher Dislokation des Humeruskopfes nach kaudomedial mit fleckigen Aufhellungen.

Linkes Kniegelenk: deutliche Kantenausziehungen mit Unschärfe im Bereich des fibularen Condylus der Tibia linksseitig mit fleckigen Aufhellungen auch im Bereich der Eminentia intercondylica.

Fraktur im oberen Fibuladrittel. Dislokation dorsal des Condylus fibularis tibiae. Ausgeprägte Kantenausziehungen im Bereich der Patella ventral, dorsal und cranial.

Zweituntersuchung: 83 Tage nach der Erstuntersuchung.

18. 51-jährige Patientin

Malleolarfraktur tibial und fibular rechts

Frakturalter: 152 Tage

Therapie: AO (Platten und Schrauben)

Röntgenbefund: gute achsengerechte Stellung. In der a.p. Aufnahme scheint sich der Frakturspalt in der Tibia von ca. 2 mm auf 4 mm vergrößert zu haben.

Zweituntersuchung: 75 Tage nach der Erstuntersuchung.

19. 79-jährige Patientin

distale Radiusfraktur

Frakturalter: 67 Tage

Therapie: konservativ, KrG

Komplikation: Sudeck, Pseudarthrosenbildung, Osteoporose im betroffenen Handgelenk.

Röntgenbefund: distale Unterarmfraktur mit erheblicher Dislokation ad axim, geringeren Grades ad longitudinem, ausgeprägte Osteoporose.

Zweituntersuchung: 135 Tage nach der Erstuntersuchung.

20. 67-jähriger Patient

Radiusfraktur

Tibiafraktur

Frakturalter: 7 Tage

Therapie: Radius: konservativ, KrG

Tibia: AO (Verplattung, Spongiosaeinfüllung)

Röntgenbefund: Querfraktur 1,5 cm proximal von der Gelenksfläche des Radius und eine Meißelfraktur am processus styloideus ulnae rechts.
Rechtes Knie: Meißelfraktur des Condylus tibialis tibiae mit Dislokation. Frakturspalt beginnt an der Eminentia intercondylica und führt schräg abwärts nach medial.

Zweituntersuchung: 130 Tage nach der Erstuntersuchung.

21. 67-jähriger Patient

Femurfraktur links

Tibiafraktur links

Frakturalter: 500 Tage

Therapie: Femur: AO (Nagelung)

Tibia: konservativ, KrG

Bei der Erstuntersuchung war der Nagel bereits entfernt.

Röntgenbefund: erhebliche Gonarthrose links, im übrigen an beiden Frakturstellen gute knöcherne Durchbauung.

Zweituntersuchung: 84 Tage nach der Erstuntersuchung.

22. 64-jährige Patientin

Radiusfraktur

Frakturalter: 86 Tage

Therapie: konservativ, KrG

Komplikation: Sudeck im Handgelenk

Röntgenbefund: deutlich zunehmende fleckige Demineralisation im benachbarten Handgelenk, die für einen M. Sudeck spricht.

Zweituntersuchung: 111 Tage nach der Erstuntersuchung.

Sonderfälle im Patientengut

23. 62-jährige Patientin

Radiusfraktur

Femurhalsfraktur

Frakturalter: 20⁴ Tage

Therapie: Radius: AO (Kirschnerdrähte)

Femur: AO (Verschraubung)

Röntgenbefund: Radius und Ulna distal mit Drähten verbolzt. Arthrodesen im Radiocarpalgelenk, schlecht konsolidierte Fraktur an Radius und Ulna mit deutlich klaffenden Spalten. Sudeck im Handgelenk und an den Grundgelenken. Oberschenkelhalsnagel in situ, 5 Schrauben. Distale Oberschenkelhalsfraktur mit Trümmerzone im Trochanter major.

Die Patientin konnte deshalb nicht in die kollektiven Ausrechnungen aufgenommen werden, da bei ihr die 1. Messung erst am 2. Tage (statt am 1. Tag) und die 2. Messung erst am 14. Tag p.i. (statt am 7. Tag) stattfand.

24. 36-jähriger Patient

multiple Beckenfrakturen rechts und links

Frakturalter: 34 Tage

Therapie: konservativ (lange Bettruhe)

Röntgenbefund: Fraktur in Hüftgelenkspfanne rechts bei erhaltendem Kopf mit Einwärtsverdrängung des Sitzbein-Schambeinmassivs. Querfraktur des Sitzbein-Schambeinmassivs links medialwärts mit Knickbildung aber ohne wesentliche Dislokation.

Da der Kollimator über den Hüftgelenken nicht genau über den Frakturstellen lokalisiert werden konnte und zudem verfälschend überhöhte Impulsraten durch Strontium-85-Speicherung in Blase und Darm gemessen wurden, eignete sich dieser Patient nicht für vergleichende Untersuchungen.

25. 44-jähriger Patient

distale Radiusrümmerfraktur rechts

Tibiaschaftfraktur rechts

bimalleoläre Luxationsfraktur links

Frakturalter: 60 Tage

Therapie: Radius: konservativ, KrG

Tibia rechts: AO (Platten und Schrauben)

Tibia links: AO (Drahtcerclage, Platten und Schrauben)

Röntgenbefund: Tibiatrümmerfraktur rechts im distalen Drittel. Platten und Schrauben in situ, gut korrigierte Stellung, Sprunggelenk unauffällig.

Radiusfraktur an typischer Stelle (links), gute Stellung, Handgelenk unauffällig.

Fibulafraktur links im distalen Viertel.

Platten und Schrauben in situ. Gute Stellung.

Malleolus tibialis-Fraktur links: Schraube in situ, verschmälertes Gelenkspalt im Sprunggelenk.

Da bei diesem Patienten die zur Ausrechnung nötigen Bezugspunkte (wie eine gesunde kontralaterale Extremität oder zumindest eine gesunde Tibiamitte) fehlten, eignete er sich nicht zur vergleichenden Untersuchung.

26. 64-jähriger Patient

Fraktur im Endglied des rechten Zeigefingers

Frakturalter: 16 Tage

Therapie: konservativ

Röntgenbefund: Knochenzyste mit Fraktur im Endglied des
rechten Zeigefingers

Dieser Patient kam erst am 6. Tag zur 1. Messung
und dann erst wieder am 11. Tag zur 2. Messung und
erfüllte daher nicht die meßzeitlichen Intervallbe-
dingungen für eine Strontium-85-Untersuchung.

27. 52-jährige Patientin

Radiusfraktur

Frakturalter: 18 Tage

Therapie: konservativ, KrG

Röntgenbefund: ausgeprägte diffuse Osteoporose im Be-
reich der Handwurzelknochen und der angrenzen-
den Knochen.

Der jetzt frakturierte Arm der Patientin ist seit ihrer
Jugend in Knochen und Gewebswachstum und -umfang durch
einen Unfall verkümmert.

Daher waren die Impulsraten selbst am frakturierten
Arm wesentlich geringer als an der gesunden kontrala-
teralen Extremität. Die Werte beider Beine konnten un-
bedenklich zur Ausrechnung als Normalwerte herangezogen
werden.

Untergruppen	1. Messung				2. Messung			
	Fraktur	an.prox.	an.dist.	üb.prox.üb.dist.	Fraktur	an.prox.	an.dist.	üb.prox.üb.dist.
alle Frakturen	1,86	1,29	1,24	1,09	1,19	3,20	1,75	1,61
Frakturen d. oberen Extremitäten	1,67	1,50	1,22	1,08	1,27	2,80	2,24	1,61
Radiusfrakturen	1,47	1,27	1,15	1,11	1,26	2,74	1,67	1,60
Frakturen d. unteren Extremitäten	2,17	1,14	1,26	1,13	1,13	3,85	1,38	1,61
Claviculafrakturen	2,24	1,14	1,22	1,14	1,14	3,60	1,45	1,51
alle Kontr. pat.: Erstunters.	1,83	1,17	1,22	1,14	1,09	3,59	1,49	1,61
" : Zweitunter.	2,03	1,36	1,34	1,21	1,21	3,05	1,76	1,89
Kontr. pat. (80 T) Erstunters.	1,71	1,29	1,16	1,15	1,07	2,81	1,84	1,26
" : Zweitunter.	1,87	1,49	1,21	1,31	1,18	3,18	1,92	1,28
Kontr. pat. (130 T) Erstunters.	1,98	1,10	1,25	1,13	1,04	4,33	1,27	1,79
" : Zweitunter.	2,23	1,27	1,44	1,18	1,26	3,04	1,55	2,32
Operative AO	2,34	1,24	1,30	1,10	1,13	4,39	1,62	1,73
Operative konservativ	1,66	1,41	1,21	1,13	1,24	2,67	2,04	1,56
Komplikationen der Heilung	2,76	1,45	1,29	1,08	1,20	4,78	2,24	1,89
Operativer Alter zw. 7 u. 21 T.	2,28	1,19	1,22	1,05	1,21	4,27	1,45	1,38
" zw. 22 u. 45 T.	1,66	1,55	1,17	1,21	1,09	3,02	2,28	1,29
" zw. 46 u. 90 T.	1,32	1,19	1,37	1,13	1,29	2,40	1,76	2,20

Tabelle 1: Quotientenmittelwerte der 17 Untergruppen für 1. u. 2. Messung

Frakturseite/Gegenseite

	1. Messung					2. Messung				
	Fraktur	an. prox.	an. dist.	üb. prox.	üb. dist.	Fraktur	an. prox.	an. dist.	üb. prox.	üb. dist.
alle Kontr.pat.: Erstunter.	1,83	1,17	1,22	1,14	1,09	3,59	1,49	1,61	1,24	1,52
" : Zweitunter.	2,03	1,36	1,34	1,21	1,21	3,05	1,76	1,89	1,35	1,58
Kontr.pat. (80 T) Erstunter.	1,71	1,29	1,16	1,15	1,07	2,81	1,84	1,26	1,25	1,36
" : Zweitunter.	1,87	1,49	1,21	1,31	1,18	3,18	1,92	1,28	1,39	1,54
Kontr.pat. (130T) Erstunter.	1,98	1,10	1,25	1,13	1,04	4,33	1,27	1,79	1,17	1,55
" : Zweitunter.	2,23	1,27	1,44	1,18	1,26	3,04	1,55	2,32	1,30	1,43

Abelle 2 : Quotientenmittelwerte von Erst- und Zweituntersuchung

a) 1 . M e s s u n g

Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅
Fraktur (16)	an.prox.(9)	an.prox.(5)	üb.prox.(6)	üb.dist.(9)
an.dist.(1)	an.dist.(7)	üb.dist.(5)	an.dist.(5)	üb.prox.(8)
	Fraktur (1)	an.dist.(4)	an.prox.(3)	
		üb.prox.(3)	üb.dist.(3)	

b) 2 . M e s s u n g

Fraktur(17)	an.prox.(9)	an.dist.(7)	üb.dist.(11)	üb.prox.(14)
	an.dist.(8)	an.prox.(6)	üb.prox.(3)	üb.dist.(2)
		üb.dist.(4)	an.prox.(2)	an.dist.(1)
			an.dist.(1)	

Tabelle 3 : Reihenfolge nach Quotientengröße (Q₁ - Q₅) bei den 17 Untergruppen. Die Zahlen in den Klammern geben jeweils die ausgewerteten Meßstellen an den frakturierten Extremitäten an.

1. Messung

2. Messung

	Fraktur	an.prox.	an.dist.	üb.prox.	üb.dist.	Fraktur	an.prox.	an.dist.	üb.prox.	üb.dist.
akturen d. oberen Extrem.	1, 67 ₁	1, 50 ₂	1, 22 ₄	1, 08 ₅	1, 27 ₃	2, 80 ₁	2, 24 ₂	1, 61 ₃	1, 26 ₅	1, 35 ₄
iliusfrakturen	1, 47 ₁	1, 27 ₂	1, 15 ₄	1, 11 ₅	1, 26 ₃	2, 74 ₁	1, 67 ₂	1, 60 ₃	1, 22 ₅	1, 36 ₄
akturen d. unteren Extrem.	2, 17 ₁	1, 14 ₃	1, 26 ₂	1, 13 ₄	1, 13 ₅	3, 85 ₁	1, 38 ₃	1, 61 ₂	1, 27 ₅	1, 35 ₄
tibiafrakturen	2, 24 ₁	1, 14 ₃	1, 22 ₂	1, 14 ₄	1, 14 ₅	3, 60 ₁	1, 45 ₃	1, 51 ₂	1, 27 ₅	1, 37 ₄

abelle 4 : Quotientenmittelwerte von oberer Extremität bzw. Radiusfrakturen und unterer Extremität bzw. Tibiafrakturen. Die Zahlen 1 - 5 rechts unten kennzeichnen die Reihenfolge nach Quotienten-
größe.

herapie AO	2,2,34 ₁	3,1,24 ₃	1,1,30 ₂	2,1,10 ₅	3,1,13 ₄	2,4,39 ₁	3,1,62 ₃	2,1,73 ₂	3,1,25 ₅	2,1,39 ₄
herapie konservativ	3,1,66 ₁	2,1,41 ₂	3,1,21 ₄	1,1,13 ₅	1,1,24 ₃	3,2,67 ₁	2,2,04 ₂	3,1,56 ₃	2,1,29 ₅	3,1,32 ₄
omplikationen der Heilung	1,2,76 ₁	1,1,45 ₂	2,1,29 ₃	3,1,08 ₅	2,1,20 ₄	1,4,78 ₁	1,2,24 ₂	1,1,89 ₃	1,1,51 ₅	1,1,60 ₄

abelle 5 : Quotientenreihenfolgen unter verschiedenen Frakturheilungsbedingungen
Die Zahlen 1 - 3 links oben zeigen die Quotientenreihenfolge senkrecht
" " 1 - 5 rechts unten " " waagrecht

				2. M e s s u n g			
		Frakturseite	Gegenseite	norm.ges.ob. Extremität			norm.ges.ob. Extremität
Schulter (üb.prox.)	2,19	1,95	2,02 ± 0,42	2,21	1,80	1,57 ± 0,29	
Ellbogen (an.prox.)	1,45 ± 0,41	1,32	1,27 ± 0,32	1,49 ± 1,02	1,10	1,14 ± 0,23	
Handgelenk (an.dist.)	1,90 ± 0,18	1,64	1,46 ± 0,34	2,21 ± 1,02	1,38	1,17 ± 0,24	
Fingergelenk (üb.dist.)	1,11	0,88	0,93 ± 0,26	1,05 ± 0,49	0,78	0,67 ± 0,12	
				1. M e s s u n g			
		Frakturseite	Gegenseite	norm.ges.ob. Extremität			norm.ges.ob. Extremität
Hüfte (üb.prox.)					n i c h t g e n a u m e ß b a r		
Knie (an.prox.)	3,50 ± 1,01	2,99	2,70 ± 0,22	3,83 ± 1,74	2,57	2,06 ± 0,34	
Sprunggelenk (an.dist.)	3,04 ± 1,10	2,35	2,26 ± 0,22	3,61	2,12	1,93 ± 0,22	
Zehengelenk (üb.dist.)	1,35	1,14	0,95 ± 0,31	1,26	0,88	0,78 ± 0,36	

Tabelle 6 : Quotientenmittelwertergebnisse Impulsraten/Tibiamitte für obere und untere Extremitäten

III. Literaturverzeichnis

- BAUER, G.C.H.: The rate of bone salt formation in a healing fracture determined in rats by means of radiocalcium. *Acta orthop. scand.* 23 (1954) 169 - 191
- BAUER, G.C.H. and R.D.RAY: Kinetics of Strontium metabolism in man. *J. Bone Jt. Surg.* 40 A (1958), 171 - 186
- BAUER, G.C.H. and WENDEBERG: External counting of Ca-47 and Sr-85 in studies of localized skeletal lesions in man. *J. Bone and Joint Surg.* 41 - B (1959), 558 - 580
- BAUER, G.C.H., A. CARLSSON, B. LINDQUIST: Metabolism and homeostatic function of bone. In: *Mineral metabolism*, Bd. 1/b, hrsg. von C.L. COMAR, F. BRONNER. Academic Press, New York 1961
- BAUER, G.C.H.: The use of radionuclides in orthopaedics. Part IV: Radionuclide scintimetry of the skeleton. *J. Bone Jt. Surg.* 50 A (1968) 1681 - 1709
- BESSLER, W.: Szintigraphische Untersuchungen nach Frakturen und Knochenoperationen. *Fortschr. Röntgenstr.* 107 (1967) 654 - 662
- NESSLER, W.: Skeletal scintigraphy as an aid in practical roentgenographic diagnosis. *Amer.J. Roentgenol.* 102 (1968) 899 - 907
- BOHR, H., A.H. SORENSEN: Study of fracture healing by means of radioactive tracers. *J. Bone Jt. Surg.* 32 A (1950) 567

- CHARKES, N. D., D.M. SKLAROFF: Early diagnosis of metastatic bone cancer by photoscanning with Strontium-85. J. Nucl. Med. 5 (1964) 168 - 179
- CHARKES, N. D., D.M.SKLAROFF and J.YOUNG: Critical analysis of Strontium bonescanning for detection of metastatic cancer. Am. J. Roentgenol. 96 (1966), 647 - 656
- CHIEWITZ, O., G. HEVESY: Radioactive indicators in the study of phosphorus metabolism in rats. Nature (Lond.) 136 (1935) 754 - 755
- COHN et al.: Rad. Research 17 (1962), 173
- COPP, D. H., D. M. GREENBERG: J. Nutr. 29 (1945) 261
- COREY, K. R., P. KENNY et al.: The use of Calcium-47 in diagnostic studies of patients with bone lesions. Am. J. Roentgenol. 85 (1961), 955
- COREY u.a.: J. Nucl. Med. 3 (1962), 454
- ERJAVEC, M.: Scintillation scanning of bone tumors and metastases by the use of Strontium-85. Rad. biol. Ther. 6 (1965) 119 - 126
- FASSBENDER, C. W. u.a.: Die Bedeutung nuclearmedizinischer Methoden in der Diagnostik von Erkrankungen der Knochen und Gelenke. Fortschr. Med. 86 (1968), 693 - 698
- FEINE, U.: Nuclearmedizin, Szintigraphische Diagnostik. G. Thieme Verlag, Stuttgart 1969
- FELDMEIER, W.: Profilmessungen mit Strontium-85 bei gesunder und erkrankter Wirbelsäule. Med. Diss. München 1969
- FELLÄNDER, M. u.a.: Clinical use of radiostrontium in evaluation of spondylitis. J. Bone and Joint Surg. 48 A (1966) 1585 - 1606

- FLEMING, W. H., J. D. Mc ILRAITH and E.R. KING: Photo-scanning of bone lesions utilizing Strontium-85. *Radiology* 77 (1961) 635 - 636
- FREY, K. W. u.a.: Die Knochenszintigraphie mit Strontium-85 und ihre klinische Bedeutung. *Med. Klinik* 62 (1967), 978 - 981
- FREY, K.W.: Knochenszintigraphie mit Strontium-85: Vergleichende Untersuchungen zwischen Röntgendiagnostik und Szintigraphie. *Fortschr. Röntgenstr.* 106 (1967) 206 - 215
- FREY, K.W. u.a.: Szintigraphie und Profilmessung mit Strontium-85 zur Diagnostik primärer und sekundärer Knochengeschwülste. *Radiologia Austriaca* 18 (1968) 85 - 94
- FUEGER, G. F.: Nuclearmedizinische Untersuchungen an Frakturen. In: *Ergebnisse der med. Radiologie* Band VI (1973) 1 - 54
- GEFFCKEN, G.: Radiostrontium - Untersuchungen des Skeletts beim metastasierenden Mamma-Karzinom. *Med. Diss. München* 1971
- GREENBERG, E. J. u.a.: Detection of neoplastic bone lesions by quantitative scanning and radiography. *J. Nucl. Med.* 9 (1968) 613 - 620
- GYNNING, J. u.a.: Localisation with Strontium-85 of spinal metastases in mammary cancer and changes in uptake after hormone and Roentgen-Therapy. A preliminary Report. *Acta radiol.* 55 (1961) 119 - 128
- HAAS, H. G.: Skelet und Mineralstoffwechsel. *Klin. Pathophysiologie*: W. Siegenthaler, G.Thieme Verlag Stuttgart 1970

- HEENEMANN, R.: Profilmessung und Szintigraphie des Schädels mit Radiostrontium. Med. Diss. München 1971
- HÖR, G., K. W. FREY u.a.: Vergleich von Szintigraphie und Röntgendiagnostik bei Osteomyelitis. Fortschr. Röntgenstr. 110 (1969), 708 - 717
- HOLOPAINEN, T., and A. REKONEN: Uptake of radioactive Strontium-85 in joints damaged by rheumatoid arthritis measured by external counting of radiation. Acta Rheum. Scand. 12 (1966), 102 - 111
- KETTUNEN, K. and A. REKONEN: Observations on the Strontium-85 turnover of osteoarthritic hip in man. Ann. Med. exp. Fenn. 43 (1965), 128 - 184
- KETTUNEN, K. and A. REKONEN: External counting of Strontium-85 in bone and joint tuberculosis. Ann. Chir. et Gyn. Fenniae 57 (1968) 250 - 256
- KLEIN, E. W. and R. LUND: Strontium-85 photoscanning in pagets disease. Amer. J. Roentgenol. 92 (1964), 195 - 201
- KOFMAN u.a.: J. Nucl. Med. 4 (1963), 9 - 17
- KOLAR, J. u.a.: Zur Diagnostik der Knochenmetastasen bei urologischen Krebserkrankungen mit radioaktiven Isotopen. Zeitschr. f. Urologie, Thieme Verlag Leipzig, 60 (1967), 577 - 581
- KOLAR, J. u.a.: Sinn und Grenzen der Knochendiagnostik mit Strontium-85. Fortschr. Röntgenstr. 106 (1967) 216 - 224
- KOLAR, J. u.a.: Diagnostik mit radioaktiven Isotopen in

- der Orthopädie. Zeitschrift für Orthopädie u. i. Grenz. 104 (1968) 414 - 425
- MYERS, W. G.: Radiostrontium-87-m. Abstrakt. J. nucl. Med. I (1960), 124
- OEFF, K. u.a.: Untersuchungen zur Dynamik des Calciumstoffwechsels beim Menschen mit Calcium-47. Klin. Wschr. (1962) 904
- O'MARA, R. E. u.a.: Rare earth nuclides as potential agents for skeletal imaging. J. nucl. Med. 10 (1969) 49 - 51
- PARSONS, V. u.a.: Strontium-85 scanning of suspected bone disease. Brit. med. J. 1 (1969) 19 - 23
- QUIMBY: Radioact. isotopes in clin. practice, Lea and Felbinger, Philadelph., 1958
- RONAI, P. u.a.: Skeletal survey for metastatic tumors of bone using 18-F and Strontium-85 with scintillation camera and whole-body scanner. J. nucl. Med. 9 (1968) 517 - 522
- ROSENTHALL, L.: The use of Strontium-85 for the detection of bone lesions. J. Can. Ass. Radiol. 15 (1964) 53-59
- ROSENTHALL, L.: The role of Strontium-85 in the detection of bone disease. Radiology 84 (1965), 75 - 83
- RUSSEL, C.B. u.a.: Bone scanning with Strontium-87-m using total information storage and controlled retrieval. Radioactive isotopes in lokalisation of tumours: W. HEINEMANN Medical Books Ltd., London 1969
- SACK, H.: Die Untersuchung des Calciumstoffwechsels mit radioaktiven Isotopen. Nucl. Med. (1967) 203 - 215

- SIMPSON, W. J. u.a.: Total body scanning with Strontium-85 in the diagnosis of metastatic bone disease. J. Can. Med. Ass. 93 (1965) 1237 - 1242
- SKLAROFF, D.M. and N.D. CHARKES: Studies of metastatic bone lesions with Strontium-85, Radiology 80 (1963), 270 - 272
- SKLAROFF, D.M. and N.D. CHARKES: The detection of bone metastases by photoscanning with radioactive Strontium-85. In QUINN, L.: Scintillation scanning in clinical medicine. W. B. Saunders Comp., Philadelphia and London 1964
- SKLAROFF, D.M. and N.D. CHARKES: The diagnosis of bone metastases by photoscanning with Strontium-85. JAMA 1 (1964) 188
- SKUPENOVÁ, A. u.a.: Profilographische Untersuchungen pathologischer Herde des Skelets mit Radiostrontium-85 Nucl. Med. 7 (1968) 37 - 45
- SOLHEIM, K.: Fracture healing in rats studied with radioactive phosphorus. Acta chir. scand. 129 (1965) 131 - 138
- SPENCER, R.u.a. Bone scanning with Strontium-85, Strontium-87-m and 18-F. Brit. J. Radiol. 40 (1967), 641 - 654
- WEBER, D. A. u.a.: Kinetics of radionuclides used for bone studies. J. nucl. Med. 10 (1969), 8 - 17
- WENDEBERG, B.: Mineral metabolism of fractures of the tibia in man studied with external counting of Strontium-85. Acta orthop. scand. Suppl. 52 (1961)

Herrn Prof. Dr. F. Holle danke ich für die an seiner Klinik gewährten Arbeitsmöglichkeiten.

Ebenso danke ich Herrn Prof. Dr. K. W. Frey für die in seiner Abteilung gewährte apparative Unterstützung und für die Übernahme des Co - Referates.

Herrn Dr. W. L. Brückner danke ich sehr für die Betreuung während der Durchführung der Untersuchung.

Besonders danke ich Herrn Dr. U. Büll für seine wertvollen Hinweise auf nuklearmedizinischem Gebiet und seine oft gewährte Unterstützung in praktischen und theoretischen Fragen.

Lebenslauf

Am 18.10.1948 wurde ich als Tochter des Diplomingenieurs Dr.-Ing. Alexander Mühlinghaus und seiner Ehefrau Elisabeth, geb. Eichhoff in Wuppertal geboren.

Von 1955 - 1959 besuchte ich dort die Volksschule. Im Juli 1967 bestand ich das Abitur am Städtischen Altsprachlichen Wilhelm Dörpfeld - Gymnasium in Wuppertal.

Ich begann im Wintersemester 1967/68 mit dem Medizinstudium in Giessen. Dort bestand ich 1968 das Vorphysikum und 1970 das Physikum. Danach studierte ich in München weiter, wo ich nach 11 Semestern das Medizinstudium im Juli 1973 erfolgreich mit dem Staatsexamen abschließen konnte.



